



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikakolledž

Samuel Puna

**PIIMA EELJAHUTUSSÜSTEEMI LABARATOORSE TÖÖ
ARENDUS**

**DEVELOPING LABORATORY WORK GUIDE FOR A MILK PRE-
COOLING SYSTEM**

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Biotehniliste süsteemide õppekava

Juhendaja: dotsent Arvo Leola, *Dr. Eng.*

Tartu 2017

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Samuel Puna		Õppekava: Biotehnilised süsteemid	
Pealkiri: Piima eeljahutussüsteemi laboratoorse töö arendus			
Lehekülgi: 60	Jooniseid: 38	Tabeleid: 15	Lisasid: 2
Osakond: Tartu Tehnikakolledž Uurimisvaldkond: Põllumajandustehnika Juhendaja(d): Arvo Leola Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Piima kvaliteet ja selle pikemaajalisem säilitamine on saavutatav jahutamiseega. Üle kahekümne aasta tagasi kasutati selleks piimamahuteid, kuid sellisel viisil jäi soojusenergia kasutamata. Energia säästlikult kasutamine on oluline ressursside efektiivselt kasutamiseks. Teiseks probleemiks on vajadus soojendada lehmade joogivett, kuna see tõstab lehmade sööda tarbimist ning omakorda piima tootmist. Lahenduseks on kasutusele võetud piima eeljahutussüsteemid – piimast tulev soojusenergia kasutatakse ära lehmade joogivee soojendamiseks. Uurimistöö eesmärgiks on uurida erinevaid võimalusi, kuidas säästlikult kujundada eeljahutussüsteeme ning koostada laboratoorse töö juhend plaatjahuti kasutamisest.</p> <p>Töö käigus kirjeldatakse energia ja vee kasutamist piimafarmis, millele järgneb piima eeljahutussüsteemi tööpõhimõtte selgitamine ja selle teoreetiline optimeerimine. Uurimistöö käsitleb plaatjahuti katseks ettevalmistamist ning katsete teostust. Katseid oli kokku 12, nendest 8 vastuvoolu suunas ja 4 pärivoolu suunas. Katsetulemused näitavad, millise voolusuuna kasutamine on kõige säästlikum. Oluline osa tööst on laboratoorse töö juhendi arendus.</p> <p>Töös on 6 jaotist. Esimeses ja teises jaotises on kirjeldatud energia ja vee kasutamist piimafarmis. Töös on käsitletud veel piima eeltöötlemist ja plaatjahuteid, millega on jõutud piima eeljahutussüsteemi optimeerimiseni. Uurimistöös on kirjeldatud plaatjahuti OM 1000-UZ tööpõhimõtet ning sellega teostatud katseid. 5. ja 6. jaotis käsitleb laboratoorse töö juhendit üliõpilastele.</p>			
Märksõnad: piima eeljahutussüsteem; plaatsoojusvaheti; plaatjahuti; OM 1000-UZ			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional higher education thesis	
Author: Samuel Puna		Speciality: Biosystem Engineering	
Title: Developing laboratory work guide for a milk pre-cooling system			
Pages: 60	Figures: 38	Tables: 15	Appendixes: 2
Department: Tartu Technology College Field of research: Farm machinery Supervisors: Arvo Leola Place and date: Tartu 2017			
<i>The quality and preserving of milk is achieved by cooling it. Twenty years ago there were milk containers for that, but the heat energy from milk was unused. Using energy sustainably is important for efficiently using resources. Another problem in agriculture is the need to warm up drinking water for cows – it boosts the consuming of feed that in turn rises the production of milk. The solution has been to use milk pre-cooling systems – heat energy from milk is used to warm up drinking water for cows. The purpose of this thesis was to explore different options of optimizing pre-cooling systems and to also compose a laboratory work guide on plate heat exchanger.</i>			
<i>In the course of this thesis the author describes using energy and water in a milk farm, what is followed by explaining the operating principles of pre-cooling systems and theoretical optimization of it. Thesis contains preparing and performing tests on a plate heat exchanger. There are 12 tests – 8 with against current and 4 with forward current. The results show what current is the best option. Important part of the thesis is developing a laboratory work guide.</i>			
<i>Thesis contains of 6 chapters. First and second chapters describe usage of energy and water in milk farms. Thesis contains preforming milk and plate heat exchanger, which leads to optimizing milk pre-cooling systems. The author describes operating principles of plate heat exchanger OM 1000-UZ and the tests performed on it. Thesis includes a laboratory work guide for students.</i>			
Keywords: milk pre-cooling system; plate heat exchanger; plate cooler; OM 1000-UZ			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
TÄHISED	6
1. ENERGIA PÕLLUMAJANDUSES	7
2. VEE KASUTAMINE PIIMAFARMIDES	10
3. PIIMA ESMATÖÖTLUS JA PIIMA JAHUTMINE	13
3.1. Piima esmatöötlus.....	13
3.2. Piima jahutamine	13
3.2.1. Piima jahutamise tähtsus ja jahutus viisid	13
3.2.2. Jahutusseadmete liigitus	14
3.3. Plaatjahutid	15
4. PIIMA EELJAHUTUSSÜSTEEMI TEOREETILINE OPTIMEERIMINE.....	18
4.1. Eeljahutussüsteem	18
4.2. Teoreetiline optimeerimine	19
5. LABORI ETTEVALMISTAMINE JA PLAATJAHUTI OM 1000-UZ KATSETAMINE ..	24
5.1. Plaatjahuti OM 1000-UZ.....	24
5.2. Labori ettevalmistamine ja plaatjahuti paigaldamine	25
5.3. Katsetoodika	27
5.4. Plaatjahuti OM 1000-UZ katsetulemused	31
6. LABORATOORSE TÖÖ JUHEND JA MENETLUSKONTROLL	35
6.1. Laboratoorse töö juhend	35
6.2. Laboratoorse töö menetluskontroll.....	43
6.3. Laboratoorse töö arenduse kokkuvõte	48
KOKKUVÕTE	49
KASUTATUD KIRJANDUS	50
SUMMARY	52
LISAD	53
Lisa 1. Katseandmed.....	54
Lisa 2. Lihtlitsents	60

SISSEJUHATUS

Piima tootmisel on prioriteediks saanud energia säästmine. 20 aastat tagasi kasutati piima jahutamiseks piimamahuteid. Sellel ajajärgul puudusid enamustes Eesti farmides piima eeljahutussüsteemid sellisel kujul nagu neid kasutatakse tänapäeval. Nüüd on aru saadud, et plaatsoojusvahetid säästavad energiat ning veel olulisem – on võimalik piimast tulev soojusenergia ära kasutada lehmade joogivee ning lüpsiseadmete puhastusvee soojendamiseks. Farmides läheb suur osa energiast loomadele toidu tootmiseks. „Piima tootmisel on energia muundamise protsess suhteliselt väikese kasuteguriga, kuna põhineb energia kahekordsel transformatsioonil: taimed muudavad päikeseenergia ja pinnases olevad toitained biomassiks, mille energiast vaid 15% kasutab lehm piima tootmiseks“ [1: 92]. Üks võimalus ongi tagasi saada söödaks kasutatud energia just piima soojuse ärakasutamisega.

Uurimistöö teema valimisel oli autoril soov uurida piima eeljahutussüsteeme ja plaatsoojusvaheteid. Teemavaliku sai ühendada Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi farmitehnika ja ergonoomika osakonna sooviga arendada välja piima plaatjahuti laboratoorse töö juhend tudengitele. Teema aktuaalsust kinnitas veel fakt, et ettevõttes *DeLaval* esines teemale vastav probleem – kuidas optimeerida piima eeljahutussüsteemi.

Eesmärgi saavutamiseks uuriti piima eeljahutussüsteemi ning kuidas oleks võimalik kasutada piimast tulev soojusenergia joogivee soojendamiseks. Uurimistöö ülesanneteks oli autoril kirjeldada eeljahutust (plaatjahuti ehitus, tootlikkus, soojusvoo ja soojuslähikande tegurid). Teiseks ülesandeks oli kirjeldada lehmade joogivee soojendamist (vee temperatuur, vee kogus jne). Kolmandaks oli paigaldada laborisse katseseade, uurida katseseadet ning analüüsida katsete tulemusi. Neljandaks ülesandeks oli valmistada laboratoorse töö juhend.

Töö koosneb 6. jaotisest. Esimeses jaotises on kirjeldatud energia kasutamist piimafarmis. Teises jaotises farmides kasutatavat lehmade joogivett. Kolmandas jaotises on kirjeldatud piima eeltöötlemist ja jahutamist. Neljandas jaotises on selgitatud piima eeljahutussüsteemi teoreetilist optimeerimist. Viies jaotis kirjeldab labori ettevalmistamist ja teostatud katseid plaatjahutiga. Kuues jaotis hõlmab laboratoorse töö juhendit plaatjahutist.

TÄHISED

Ladina tähed

c	erisoojus
K	soojuslähikandetegur
M	kogumass
m	mass
n	vee kulu tegur
$q_{\text{ööp}}$	keskmine ööpäevane veetarve
q	tegelik tootlikus
Q_p	piima energia
Q_v	vee energia
Q_e	energiate vahe
Q_k	katseline külmatootlikkus
S	pindala
T	temperatuur
ΔT_k	keskmine logaritmiline temperatuuride vahe
T_{alg}	algtemperatuur
$T_{\text{lõpp}}$	lõpptemperatuur
t	aeg
V	ruumala
V_p	jahutatud piima (vee) hulk

Kreeka tähed

γ	piima (vee) tihedus
Δ	vahe (delta)

1. ENERGIA PÕLLUMAJANDUSES

Energia kasutamine ja selle kokkuhoid on väga aktuaalne teema põllumajanduses. Piima eeljahutussüsteemis on peamine energia soojusenergia, mis tuleb lehma piimast. Piima energia efektiivne kasutamine ja energia säästmine on farmi omanikule tähis. Energia, mida kasutatakse piima eeljahutussüsteemis tuleb lehma söödast ja seda raisku lasta pole efektiivne.

Energia on füüsikaline suurus, mis tähendab mingi süsteemi võimet teha tööd. SI-süsteemis on energiaühikuks džaul (J) ning veel kasutatakse teisi ühikuid nagu kWh ja selle tuletisi.

Energia erinevad vormid on järgmised: potentsiaalne energia, liikumise ehk kineetiline energia, elektromagnetiline energia jne. Energia muundatakse mehaaniliseks tööks, mida kasutatakse hoonete soojendamiseks, toidu või sööda valmistamiseks, vee soojendamiseks jms.

Energia mõõtmiseks kasutatakse energialiigi eripärast tulenevaid mõõteühikuid. Enam levinud energia mõõteühik on kilovatt-tundi (kWh), peamiselt kasutatakse kWh elektrienergia mõõtmiseks. Energia teisendumine tööks ja soojuseks ei juhtu ilma kadudeta.[1]

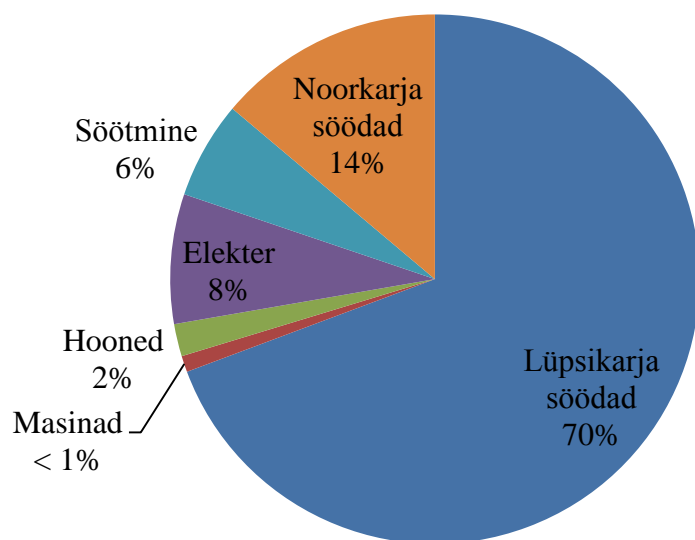
Energiakasutuses jääb kasutegur alati madalamaks kui 100% ja kasutegur sõltub protsessi isoleeritusest[1]. Protsesside või rakenduste kasutegur sõltub veel ka koormusest. Kasutegurit arvutatakse energia- või võimsusepõhiselt. „Kütteprotsessi kasutegur saadakse kütmisel eralduva soojusenergia jagamisel kütteaines sisalduva energiakogusega“ [1: 15].

Energeetilise efektiivsuse mõistet rakendatakse looma- ja taimekasvatuse energiatootluse hindamiseks. Energeetiline efektiivsus on arv, mida leitakse soojushulga ehk toiduenergia jagamisel produktsiooni energiaga. Loomakasvatuses võib olla arv ühest väiksem, kuna biomassi kasutatakse peamiselt looma toiduks, mis omakorda annavad loomse toote näiteks nagu piimaks ja lihaks. Taimekasvatuses on energeetiline efektiivsus tavaliselt üle ühe. See tõestabki, et taimetele kuluv energiahulk on suurem, kui toiduks kuluv energia (tabel 1.1).[1]

Tabel 1.1. Põllumajandustoodangu energeetilised näitajad [1]

Põllumajandussaadus	Energeetiline efektiivsus
Teravili	3...5
Päideroog	8...15
Silo	5...8
Piim	0,5...1
Sealiha	0,4...0,9
Broileriliha	0,5...1.1

Piima valmistamisel on kasutegur suhteliselt väike, kuna piima valmistamisel energia muu-
tub kaks korda. Esimene saadus on biomass, mille on tootnud taimed päikeseenergia ning
maapinnast saadavate toidainete koostmõjul. Sellest kasutavad lehmad piima tootmiseks 15%.
Energeetilist efektiivsust võib lugeda üheks näitajaks säästva tootmise juures, kuna intensiivne
tootmine on põhjustanud suurt nõudlust toorainele. Energiakulu sõltub piimafarmides palju-
dest teguritest nagu näiteks farmi asukoha kliimast, farmi suurusest, pidamise tehnoloogiast,
farmi tehnilisest seisukorrast jne. Nende tegurite pärast kõigub energiakulu väga suurtes piiri-
des piimatootmisel. Näiteks Eestis on levinud suurlaudad, kus piimakarja hoitakse külmades
vabalautades. „Aastatel 2009...2011 läbi viidud uurimuse kohaselt on keskmine fossiilse
energia sisend 5,1 MJ ühe kg piima kohta“ [1: 92-93]. Eesti vabapidamisega külmilautades on
elektrilises- ja fossiilses energiakasutuses kaudse energia osakaal palju suurem kui otsese
energia oma (joonis 1.1). Kaudne energia on söödale, hoonetele ja seadmetele kuluv elekter
ning kütus. Otsest energiat kasutatakse peamiselt piima jahutamisel, lüpsmisel, ruumide küt-
misel, valgustamisel, sõnniku koristamisel ning meeldiva keskkonna loomisel nii loomale kui
ka inimesele.[1]



Joonis 1.1. Elektri- ja fossiilse energia kasutuse struktuur Eesti külmlaudas [1].

2. VEE KASUTAMINE PIIMAFARMIDES

Vesi on looma eluks üks kõige tähtsamaid faktoreid. Vesi osaleb elutegevuseks vajalikes protsessides: ainevahetuses ja seedimises, higistamises, väljaheidetes, vee ja soolade tasakaalustamises. Lisaks veel ümbritseb arenevat loodet, mistõttu on oluline osa järglaste saamisel. Värske ja puhta vee kättesaadavus on eluliselt oluline, kuna 20% veekaotust võib olla organismile surmav [2].

Vesi on väga tähtis lehma eluprotsessideks. Lehma kehakaalust varieerub kogu veesisaldus 55% kuni 80%[6]. Vesi eraldub veise kehast harilikult piima, uriini, higi, väljaheidetega ja välja hingava õhuga. Vähesese joogivee kätte saadavusega väheneb koheselt veise kaal, söögiisu ja piima toodang.

Vee sisaldus piimas on 87...88%. Peamiselt saab lehm oma vee vajaduse kolmest allikast: esiteks joogiveest, teiseks söödast ning kolmandaks veest, mis vabaneb väga vähesel määral toitainete seedimisel. Peamine allikas on joogivesi, mis moodustab keskmiselt 83% tervest veetarbest.[3]

Laudas peab olema piiramatult juurdepääs joogiveele. Värske vesi on isegi tähtsam, kui värske sööda olemasolu. Kui lehmad ei joo, langeb piima toodang ja kuivaine söömine, mille mõju on seedimisele kahjulik. Lehmadele meeldib juua suurtest ja madalale paigutatud künadest. Veised valivad alati kõige värskema ja puhtama vee.

Joomine käib tavaliselt lehmadel harjumuse järgi enne ja peale söömist. Harilikult joovad lehmad ka pärast lüpsmist. Sellest lähtudes peavad olema jooturid või veekünad asetatud farmides söögikohtade lähedale. Kehtib kirjutamata reegel, et kahekümne lehma kohta on üks suur veeküna või iga kümne lehma kohta on üks väike veeküna.[5]

Vabapidamisel peab olema üks jootur viie lehma kohta ning jooturi täitumiskiirus peaks olema 16...20 liitrit minutis. Ühe liitri piima tootmiseks kulub 8 liitrit vett ja 1 kg kuivaine seedimiseks kasutab loom samuti 8 liitrit vett (tabel 2.1). Peale söömist vee osakaal maos

langeb, mis sunnib lehma jooma.[10]

Tabel 2.1. Lehmade veetarve vastavalt piima tootlikkusele [10]

Lehma piima kogus kg päevas	Joogivee kogus liitrit päevas
10	30...70
30	90...150
50	100...200
Kinnislehm	30...60
Noorloom alla ühe aasta	5...15
Noorloom ühe kuni kahe aastane	15...25

Vesi künas peaks olema nii puhas, et inimene julgeks ise sealt juua. Probleem seisnebki künade mittepiisavas puhastamises. Kui jootureid ja künasid ei puhastata nii tihti kui seda on vaja, siis selline tegevus soodustab bakterite kasvukeskkonda ning künadest või suuremahulistest jooturidest saavad bakteriaalse saastumise allikad [5].

Farmide keskmine ööpäevane veetarve arvutatakse valemiga [7]:

$$q_{\text{ööp}} = m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots + m_n z_n, \quad (2.1)$$

kus $m_1 \dots m_n$ on veetarbimismäär (l/d – veevajadus liitrites ühe looma kohta päevas),
 $z_1 \dots z_n$ – ühesuguste tarbijate arv.

Veevarustamiseks on tarvis arvestada nõudeid

1. Veevaru oleks piisav lehmade vajadusi arvestades.
2. Vesi peab olema värske ja puhas.
3. Vee torustik ja veevarustusega seotud seadmed oleks sanitaarselt puhtad.

Tasub kasutada kaevuvett, sest see on soodsam ja on kogu aasta vältel suhteliselt stabiilse temperatuuriga. Veel parem oleks kasutada veepuhastusjaama vett. See võimaldaks mitte

kasutada eraldi reovee puhastamise seadmeid ning puuduksid probleemid vee puhtusega.[7]

Lehmade joogivesi peaks jääma temperatuuridesse 10...15 °C [10]. Peale lüpsmist eelistavad lehmad juua umbes 20 °C või natuke soojemat vett. Vee soojendamine tõstab olulisel määral lehmade söömust ja piimatoodangut [6]. Piima toodang võib langeda ~25%, kui lehmal jääb saamata 40% päeva veevajadusest [10].

3. PIIMA ESMATÖÖTLUS JA PIIMA JAHUTMINE

3.1. Piima esmatöötlus

Esmatöötluste alla käivad tehnoloogilised toimingud on piima jahutamine, piima säilitamine, piima liigutamine farmi siseselt, piima koguste määramine. Esmatöötluste alla lähevad veel esmatöötlusseadmete tehnohooldus, piima toimetamine paakautosse, pindade ja seadmete puhastamine ning piima kvaliteedi määramine. Piima kvaliteedi määramise juures tuleb jälgida temperatuuri, rasvasisaldust, lõhna, värvi ning maitset. Piima kvaliteet sõltub lehmade tõust, veest ja jootmistehnoloogiast, söötadest ja söötmistehnoloogiast, pidamisviisist ja loomade sanitar-veterinaarsest seisundist, lüpsitehnoloogiast, lüpsiinventari ja lüpsiseadmete sanitaarsest olukorrast ning nende puhastusseadmetest, farmipersonali tööskestest ja isiklikust hügieenist.[8]

3.2. Piima jahutamine

3.2.1. Piima jahutamise tähtsus ja jahutus viisid

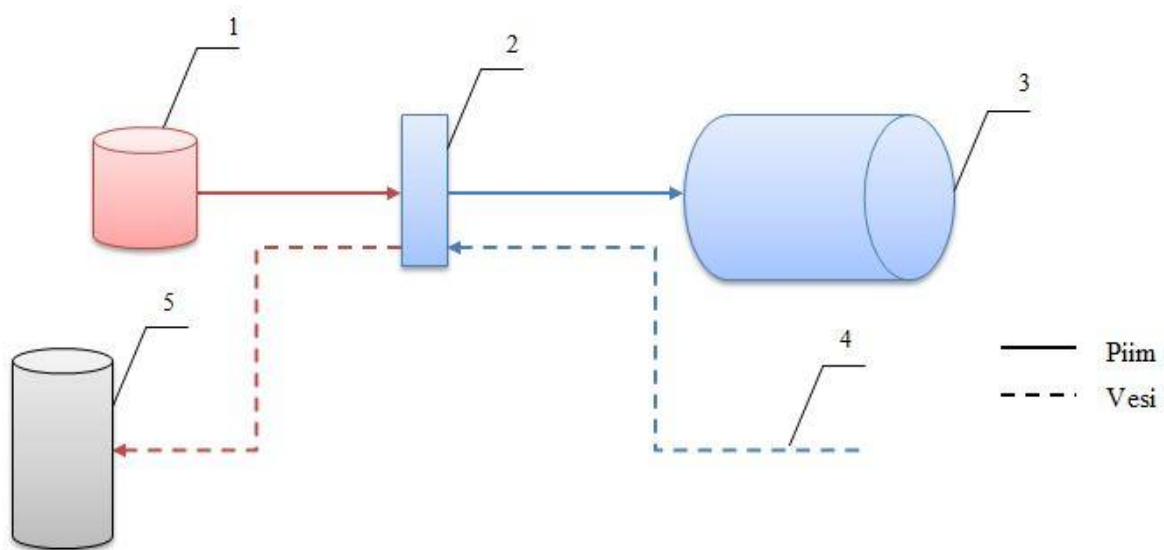
Piima tõhus esmatöötlus ja sanitaarhügieeninõuete range täitmine on üheks tingimuseks kvaliteetse piima saamiseks. Arvestades piima keemilist ja füüsikalist koostist peab tähele panema erinevatel põhjustel piima sattuvaid mikroorganeid ehk mikroobe, mis paljunevad kiiresti.[8]

Kõige tähtsam piima esmatöötlustes on piima jahutamine. Piima jahutamisel kasutatavad piimajahutusseadmed on plaatsoojusvahetid ehk plaatjahutid, piimajahutid, eraldi veejahutusseadmed, jahutusveepump koos torustikuga, pesuseadmed ja juhtimisseadmed.

Piim kanti lautadest välja lüpsikutega ehk piimaämbritega selleks eraldi olevasse ruumi ehk piimaruumi, kus kurnati piim kannudesse. Kui see oli tehtud tõsteti kannud veebasseini, mis

oli tavaliselt külma vett ja jääd täis [7]. Praegu on piima jahutamine automaatne ja lihtsustatud.

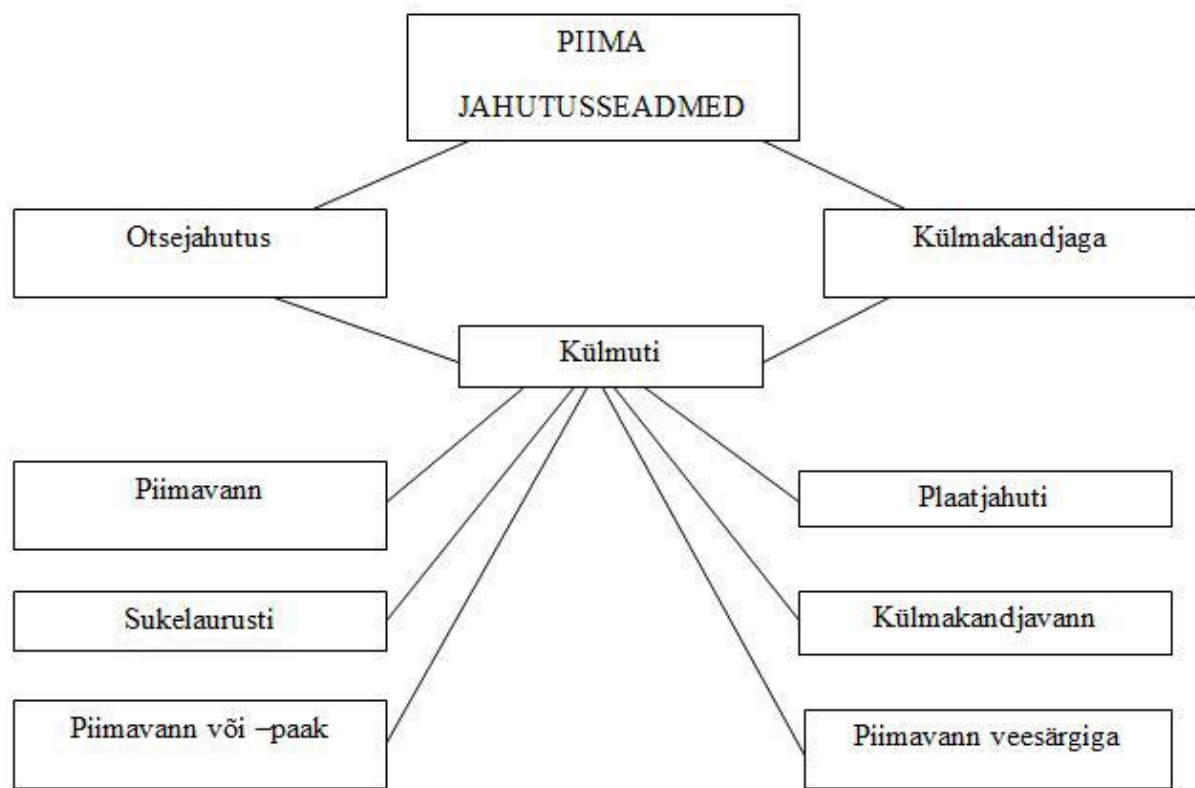
Piima jahutamine on väga tähtis kvaliteedi säilitamisel. Peale lüpsmist on piima temperatuur umbes 36 °C, kuna lehma kehatemperatuur on 38...39°C. Piima bakterite vastupanu säilib vahetult peale piima lüpsmist. Bakteritsiidseks faasiks nimetatakse aega, mille jooksul mikroobid piima sees ei paljune. Bakteritsiidse vastupanu mõjuaeg on 30 °C piima juures kuni 2h, 25 °C – 4 h, 10 °C – 18 h ja 5 °C piima juures kuni 30 h.[8]



Joonis 3.1. Piima eeljahutussüsteemi põhimõtteskeem: 1 – piimakogur; 2 – plaatjahuti; 3 – piimajahuti-säiliti; 4 – kaevust; 5 – joogivee paak.

3.2.2. Jahutusseadmete liigitus

Jahutusseadmeid liigitatakse jahutuspõhimõtte järgi. Peamiselt jagunevad külmakandjaga ja otsejahutusega seadmeteks. Külmakandjaga jahutusseade koosneb külmutist ning vastavalt komplektile, kas plaatjahutist, külmakandjavannist või piimavannist veesärgist. Peamiselt kasutatakse tänapäeval plaatjahutit koos külmutiga. Otsejahutusega jahutusseadmete külmutid sisaldavad paneel- või piluaurustit (joonis 3.2).[8]



Joonis 3.2. Piimajahutusseadmete liigitus [8].

3.3. Plaatjahutid

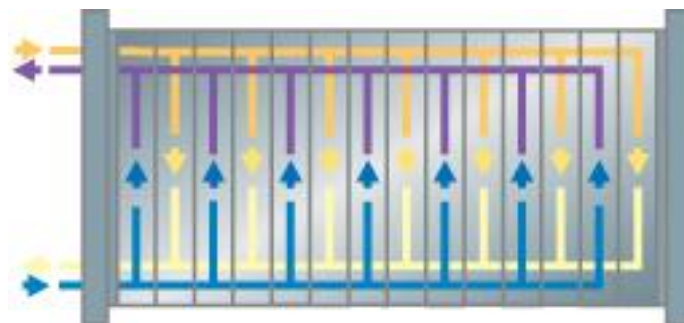
Plaatjahuteid kasutatakse piimafarmides lüpsisooja piima eeljahutamiseks, et säästa energiat piimajahutite ja lehmade joogivee soojendamise arvelt. Plaatjahutite ülesanne on jahutada lüpsimasinast piima alla 15°C. Ülejäänud piima jahutamine toimub piimajahuti-säilitis temperatuurini 4°C. [8]

Plaatjahutid koosnevad korrosioonikindlatest ehk roostevabast terasest plaatidest. Piim voolab ühel pool plaate ja kaevuvesi või kraanivesi voolab teisel pool. Voolu suunad võivad olla nii vastassuunalised kui ka samasuunalised. Plaatjahutist väljunud piima temperatuur on vähenenud 2...4 °C üle jahutusvee temperatuuri [4].

Plaatjahutitega on võimalik piima jahutada kohese jahutamistehnoloogiaga. Kiire jahutamine toimub plaatjahutis sarnaselt tavalisele eeljahutamisele. Vahe seisneb selles, et on kasutatud ainult jahutatud vett või jahutusvedelikku. Vesi või jahutusvedelik jahutatakse maha 2...4°C [4]

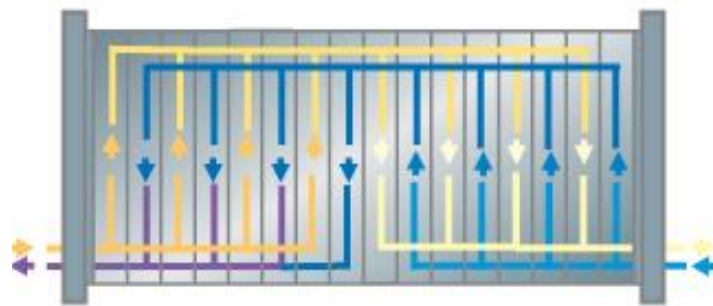
Ecombies ehk kombineeritud eeljahutamine toimub plaatjahutis kahes osas. Plaatjahuti esimeses osas tiirleb kaevu või kraanivesi ja teises osas tiirleb jahutusvedelik. [4]

Ühesuunalise läbipääsuga (*singel pass*) plaatjahuti tüübis kasutatakse kraani- või kaevuvett piima jahutamiseks. Piima vool on vastassuunaline jahutusvee voolule (joonis 3.3)[4].



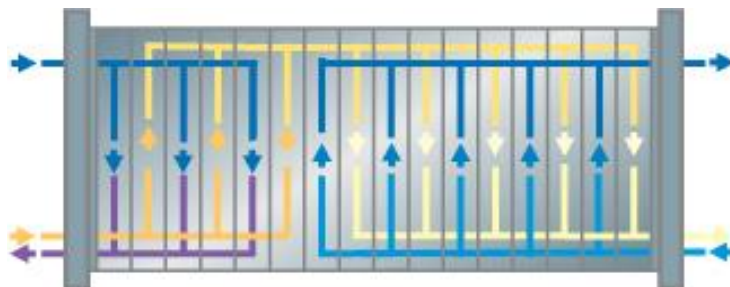
Joonis 3.3. Ühesuunalise läbipääsuga (*singel pass*) plaatjahuti piima (kollane) ja jahutusvee voolamise suunad (sinine). Soojenenud jahutusvesi (lilla) liigub ülesse ning jahtunud piim liigub alla (helekollane) [4].

Koheses jahutamises kasutatakse plaatjahutit. Võib jahutusveeks kasutada kraanivett või kaevuvett, kuid peamiselt kasutatakse jahutusvedelikku (joonis 3.4) [4].



Joonis 3.4. Kahesuunalise läbipääsuga plaatjahuti (*two passes*). Paremt poolt piim väljub (helekollane) ning siseneb jahutusvedelik või jahutusvesi (sinine). Vasakult poolt väljub jahutusvedelik, mis on soojenenud (lilla) ja siseneb soe piim (kollane) [4].

Ecombies ehk kombineeritud jahutamises kasutatav plaatjahuti tüüp koosneb kahest osast. Plaatjahuti esimeses osas tiirleb kraani või kaevuvesi ning teises osas tiirleb jahutusvedelik (joonis 3.5). On võimalik jahutada piima koheselt 4 °C [4].

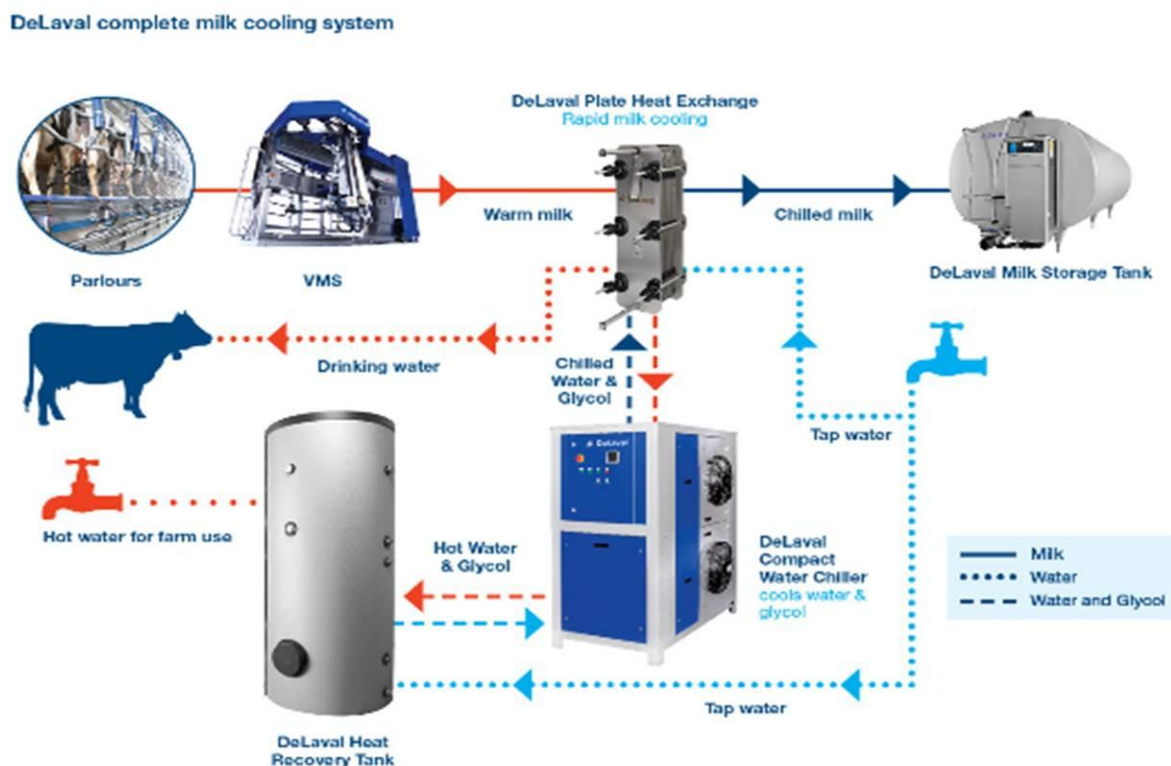


Joonis 3.5. *Ecombies* ehk kombineeritud läbipääsuga plaatjahuti. Paremt alt siseneb jahutusvedelik (helesinine) ning väljub ülevalt paremalt (sinine). Piim (kollane) siseneb vasakult alt ja väljub paremalt alt jahutatud piimana (helekollane). Vasakul pool kulgeb kraani- või kaevuveesi – vasakult ülevalt siseneb vesi (sinine) ning väljub vasakult alt soojenenud veena (lilla) [4].

4. PIIMA EELJAHUTUSSÜSTEEMI TEOREETILINE OPTIMEERIMINE

4.1. Eeljahutussüsteem

Piima eeljahutussüsteemi optimeerimisel lähtuti *DeLaval* piima jahutussüsteemist (joonis 4.1). Antud jahutussüsteemis on kasutusel kombineeritud plaatsoojusvaheti ja piimamahuti. Piimast tulev soojusenergia kasutatakse ära lehmade joogivee soojendamiseks (joonis 4.1). Plaatsoojusvaheti ehk plaatjahuti kasutab nii kraanivett kui ka jahutusvedelikku piima jahutamiseks ning samal ajal soojendab piim kraanivett, mis läheb loomadele joogiks.

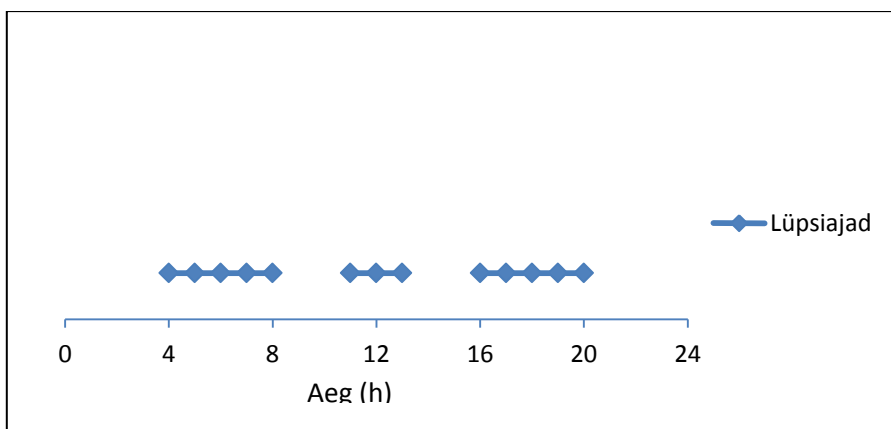


Joonis 4.1. Piima jahutussüsteemi põhimõtteskeem (*DeLaval*). *Parlours* – platsillüps; *VMS* – automaatlüps ehk robotlüps; *Plate Heat Exchanger Rapid milk cooling* – plaatsoojusvaheti kiireks piima jahutamiseks; *Milk Storage Tank* – säilitusmahuti; *Compact Water Chiller cools water & glycol* – jahutusvedeliku ja vee jahuti; *Heat Recovery Tank* – soojavee mahuti (*DeLaval*).

4.2. Teoreetiline optimeerimine

Teoreetilises piima eeljahutussüsteemi optimeerimises arvestatakse erinevaid tegureid: lehmade arv farmis, piima kogus, joogivee kogus, piima alg- ja lõpptemperatuur, vee alg- ja lõpptemperatuur; piima tootlikkus; veepumba tootlikkus. Piima tootlikkuse järgi on võimalik valida sobiva tootlikkusega plaatsoojusvaheti farmile.

Järgnevas on aluseks võetud reaalse farmi andmed, millel on 2x20 Westfalia paralleel-lüpsiplats. Paralleel-lüpsiplatsi normaalne lüpsi kiirus on 130...140 lehma tunnis ja lehmi lüpstakse kolm korda päevas. Kõrgtoodangulise lehma päevane keskmine piima kogus on 30 kg ja päevane keskmine veetarbimine on 100 liitrit. Piima algtemperatuur on vahemikus 33...35 °C, kuna lehmast tulnud piim jahtub mingil määral teel plaatjahutisse. Piima lõpptemperatuur jahutatakse 4 °C, see tagab piima parema kvaliteedi ja säilivuse. Jahutusvee algtemperatuur kõigub vahemikus 5...10 °C ja jahutusvee lõpptemperatuur oleneb sellest kui palju soojusenergiat annab piim jahutusveele. Arvutustes kasutas autor lõpptemperatuuriks 10...15 °C vahemikku, sest see vahemik on lehmadele joogiveeks kõige parem.



Joonis 4.2. Lüpsiajad.

Lehmi lüpstakse kolm korda päevas ehk kolm korda 24 tunni jooksul (joonis 4.2). Hommikune lüps algab kell 4:00 ja lõppeb 8:00, lõunane lüps 11:00 kuni 13:30 ja õhtune lüps 16:00 kuni 20:00.

Tabel 4.1. Piima kogus ja vooluhulk

Lüpsmis aeg	Lehmade arv	Lehma piima kogus kg	Lehmade piima kogus kokku	Lüpsi kestus h	q kg/h	q kg/s	q kg/min
Hommik	500	10	5000	4	1250	0,35	21
Lõuna	300	10	3000	2,5	1200	0,3	20
Õhtu	500	10	5000	4	1250	0,35	21

Piima jahutamisel plaatjahutiga peab jälgima kui suur on farmi piima vooluhulk. Näidiseks on võetud farm, kus on piima vooluhulk 21 kg/min ning plaatjahuti jõudlus 21 kg/min või kõrgem. Plaatjahuti jõudlusest ja jahutusvee pumba voolutugevusest oleneb, kas plaatjahuti suudab eeljahutada farmis olevat piima. Plaatjahutiga jahutamisel on võimalik piima ja vee voolu suhe 1:1, mis tagab rahuliku jahtumise. Lõplik jahutamine toimub piimajahuti-säilitis. Veel on võimalik 1:2 ja 1:3 voolukiiruste suhted, mis tagavad kiirema ja parema jahutuse ning võimaldavad piima jahutada ilma lõpliku jahutamiseta. Sellisel juhul tuleb arvesse võtta jahutusvee või jahutusvedeliku temperatuur. Näidisfarmile sobivad *DeLaval* BM ja BMSS plaatjahutid, kuna nende jõudlus kõigub 22...55 kg/min ning sellist tüüpi plaatjahutid sobivad hästi keskmise ja väiksema tootlikkusega farmidele [12]. Lisaks on võimsama jõudlusega plaatjahuteid suurtele farmidele.

Piima tootlikus arvutatakse valemi abil:

$$q = \frac{M}{t} \quad (4.1)$$

kus q on tootlikus kg/s;

M – piima mass kg;

t – lüpsiaeg s.

Tabel 4.2. Andmed 500. lehmaga farmist

n	500
m_p kg	30
m_v l	100
M_p kg	15000
M_v l	50000
T_{p-alg} °C	35
$T_{p-lõpp}$ °C	12
$T_{v-lõpp}$ °C	16
T_{v-alg} °C	7
Q_p kJ	1356195
Q_v kJ	1885500
Q_v-Q_p kJ	529305
Jääk °C	9,04
Q_p kWh	376,72
Q_v kWh	523,75
Q_v-Q_p kWh	147,02

Autor võttis näiteks 500 lüpsilehmaga farmi (tabel 4.2), et arvutada välja piimas ja vees olev energia. Algselt arvutati välja keskmine piima kogus 500 lehma kohta ja palju on keskmine veetarve 500 lehmale päevas. Keskmine piima toodang on ühel kõrgetoodangulisel lehmäl 30 kg piima päevas ja veetarbimine on keskmiselt 100 liitrit päevas. 500 lehma kohta tuleb keskmine päeva piimatoodang 15 tonni päevas ja keskmine vee tarve on 50 m³ päevas. Piima algtemperatuur on 35 °C, kuna lehma kehatemperatuur on 38...39 °C ja piim jahtub enne plaatjahutisse jõudmist 3...4 °C välistemperatuuri mõjul. Vee algtemperatuuriks on 7 °C. Eesti põhjavee keskmine temperatuur aastaringelt on 6...7 °C [11]. Piima ja vee voolu tugevuse suhe on 2,5 – vee vool on 2,5 korda tugevam kui piima vool. Sellest saab autor piima lõpptemperatuuriks 12 °C ja vee lõpptemperatuuriks 16 °C. Alg- ja lõpptemperatuuride abil oli võimalik välja arvutada piimas ja vees olev energia. Piima jahutamiseks 12 °C kuluks 376,72 kWh elektrienergiat. 376,72 kWh päevas elektrienergia kasutamist säästaks aastas jahutamiskuludelt 137502,8 kWh. Lisaks on võimalik kasutada ära 16 °C soojenenud jahutusvesi lehmade joogi veeks.

Piima energiat arvutatakse valemi abil:

$$Q_p = M_{piim} \cdot c \cdot (T_{alg} - T_{lõpp}), \quad (4.2)$$

kus Q_p on energia piimast kJ;
 M – piima ööpäevas kg;
 c – piima erisoojus 3,931 kJ/(kg·°C);
 T_{alg} – piima algtemperatuur °C;
 $T_{lõpp}$ – piima lõpptemperatuur °C.

Vee energiat arvutatakse valemi abil:

$$Q_v = M_{vesi} \cdot c \cdot (T_{alg} - T_{lõpp}), \quad (4.3)$$

kus Q_v on energia jahutusveest kJ;
 M – vee kogus ööpäevas l;
 c – vee erisoojus 4,190 kJ/(kg·°C);
 T_{alg} – vee algtemperatuur °C;
 $T_{lõpp}$ – vee lõpptemperatuur °C.

Energia vahe arvutatakse valemi abil:

$$Q_e = (Q_p - Q_v), \quad (4.4)$$

kus Q_e on piima ja vee energia vahe;
 Q_p – energia piimast kJ;
 Q_v – energia jahutusveele kJ.

Delta arvutatakse valemi abil:

$$\Delta = Q / (M_{piim} \cdot c), \quad (4.5)$$

kus Δ on jääk;

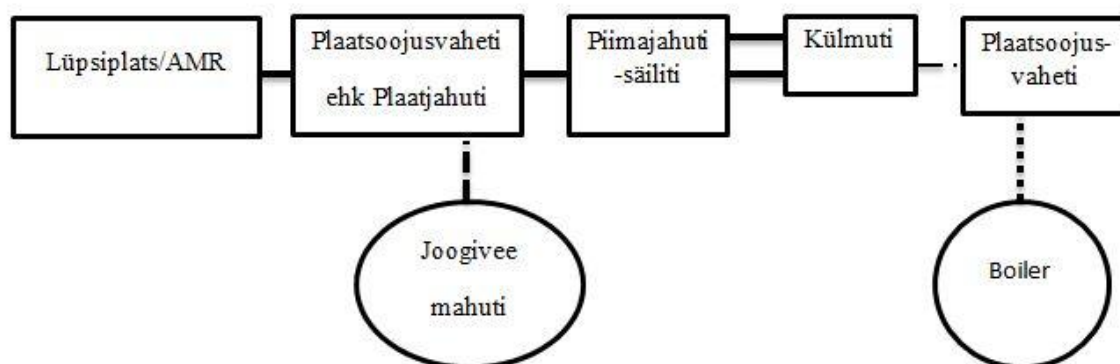
Q_p – energia piimast kJ;

Q_v – energia jahutusveele kJ;

M_{piim} – piima ööpäevane kogus kg;

c – piima erisoojus 3,931 kJ/(kg·°C).

Piimas olevat soojusenergiat kasutatakse farmis ära (joonis 4.3). Esmalt pumbatakse piim lüpsplatsilt või robotlüksist plaatjahutisse, mis jahutab piima ja soojendab jahutusvee.



Joonis 4.3. Piima energia ära kasutamise põhimõtteskeem: — piim; - - - joogivesi;

..... tehniline vesi; - · - külmutusagens.

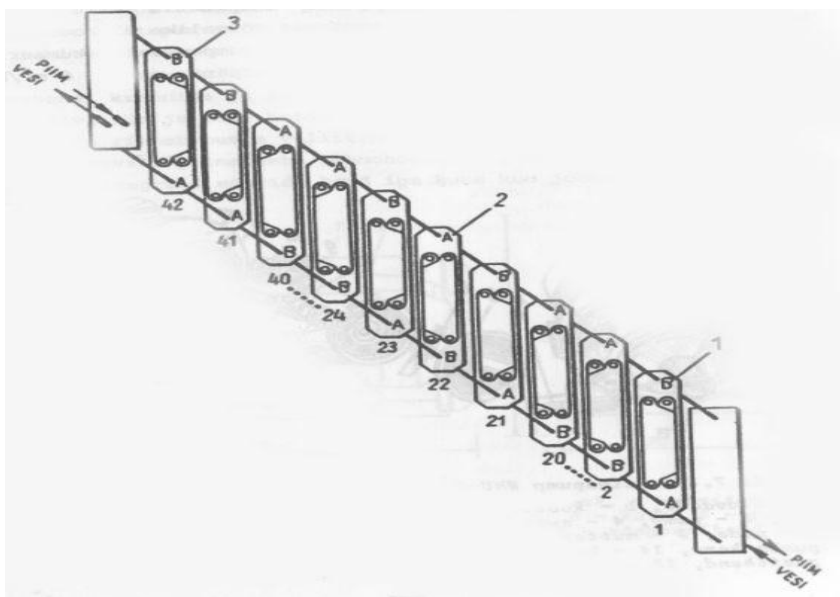
Plaatjahuti jahutusvesi kasutatakse ära lehmade joogiveeks, sest jahutusvesi on soojenenud lehmadele sobiva joogivee temperatuurini. Veel kasutatakse ära plaatsoojusvaheti abil piimajahuti kompressorist tulev soojusenergia tehnilise või pesuvee soojendamiseks.

5. LABORI ETTEVALMISTAMINE JA PLAATJAHUTI OM 1000-UZ KATSETAMINE

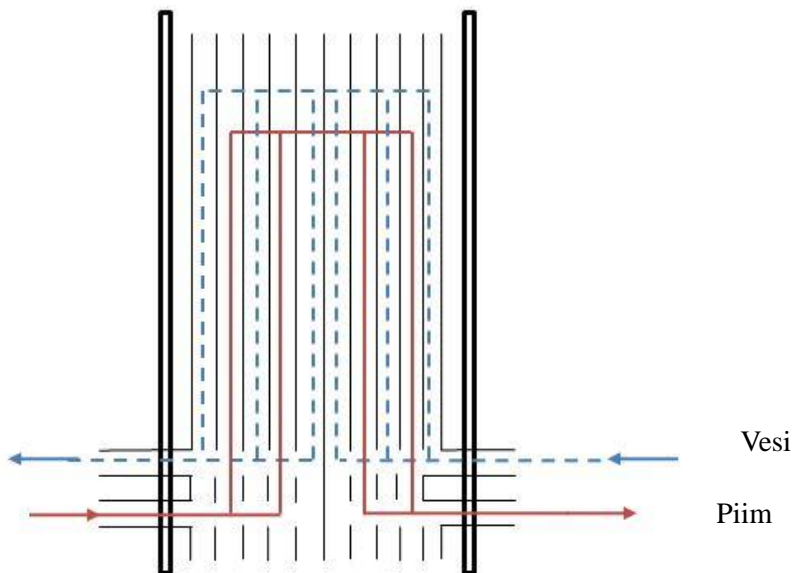
5.1. Plaatjahuti OM 1000-UZ

Plaatjahuti OM 1000-UZ on toodetud NSV Liidus ning valmistatud piima eeljahutamiseks. Jahuti jõudlus on 1000 l/h. Plaatjahuti OM 1000-UZ koosneb 42 roostevabast terasest plaatidest, mis on äärest kaetud kummitihenditega ning kahest raamiplaadist, mis on pingutatud mutrite ja poltidega. Plaatide paigutus on kindlas järjekorras (joonis 1).[8]

Plaatjahuti OM 1000-UZ jagab kaheks sektsiooniks eraldusplaat (joonis 1). Plaadid 1, 22 ja 42 (joonisel tähistatud vastavalt 1, 2 ja 3) on kahe avaga ja peavad asetsema ettenähtud kohtadel. Ülejäänud plaadid on kõik nelja avaga. Plaadid peab asetama nii, et märgid „A“ ja „B“ oleks ava „MOLOKO“ ehk „piim“ poole. Kui plaadid on asetatud oma kohale, tuleb pingutada plaadid pingutuspoltide ja mutritega. Plaatjahuti OM 1000-UZ paki paksus peab olema peale pingutamist vahemikus 97...109 mm. Plaatjahutist läbi tulev piim ja jahutusvesi pumbatakse vastassuunaliselt (joonis 2).[8]



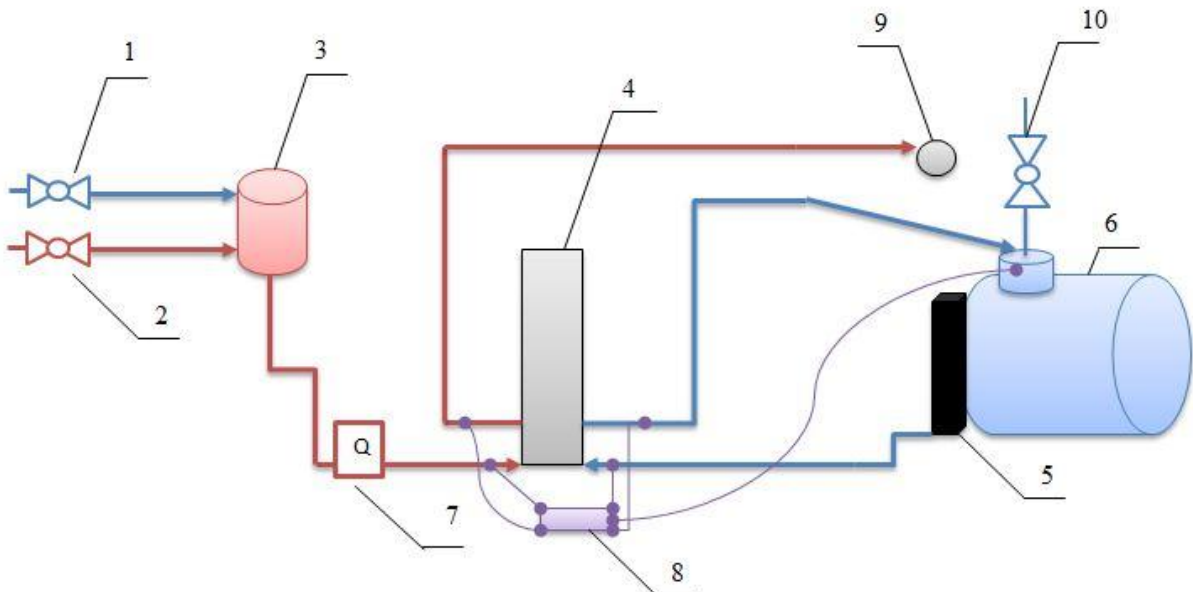
Joonis 5.1. Plaatjahuti OM 1000-UZ põhimõtteskeem: 1 – plaat kahe avaga; 2 – eraldusplaat kahe avaga; 3 – plaat kahe avaga [8].



Joonis 5.2. Plaatjahuti OM 1000-UZ tehnoloogiaskeem [9].

5.2. Labori ettevalmistamine ja plaatjahuti paigaldamine

Laboris A118 (Lüpsi- ja Jahutusseadmete labor) leidsid aset katsetused, kuhu paigaldati plaatjahuti OM 1000-UZ. Energia kokkuhoiu jaoks peaks enne plaatjahuti laboratoorse töö tegemist olema tehtud piimajahuti-säiliti laboratoorne töö, kuna siis on juba jahutusvesi maha jahutatud. Selline laboratoorsete tööde järjekord hoiab kokku energiat ja aega.



Joonis 5.3. Laboratoorse töö skeem: 1 – külma vee kraan; 2 – kuuma vee kraan; 3 - piimakogur ja pump; 4 – plaatjahuti OM 1000-UZ; 5 – *DeLaval* pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudel (veepump); 6 – piimajahuti-säiliti CH 1650; 7 – veearvesti; 8 – digitaalne viiepunktiline termomeeter; 9 – kanalisatsiooni ava; 10 – külma vee kraan.

Esmalt ehitati raamistik, kuhu paigaldati plaatjahuti OM 1000-UZ. Järgnevalt tuli torustik ühendada plaatjahutiga. Torustik ühendati nii, et toimuks vastassuunaline vool piima (vee) ja jahutusvee vahel. Esimene toru ühendati koguriga ja keskele paigaldati veearvesti. Teine toru ühendati plaatjahutiga ning suunati kanalisatsiooni. Jahutusvee esimene toru ühendati *DeLaval* pesemis- ja juhtimisseade T10 2008. a. mudeliga ehk veepumbaga. Jahutusvee teine toru suunati piimajahuti-säilitisse CH-1650. Järgnevalt paigaldati viiepunktilise termomeetri termistorid neljale torule ja isoleeriti need, et õhutemperatuur ei mõjutaks mõõtmistulemusi. Viies termistor paigaldati piimajahutisse. Viiepunktiline termomeeter ühendati sülearvutiga (PC), et oleks võimalik andmeid töödelda Excel-is. Piima (vee) tegemiseks suunati nii kuuma kui ka külma vee kraanid kogurisse ja õige piima (vee) temperatuuri saamiseks mõõdeti kontakttermomeetriga SDT30 (joonis 5.3).

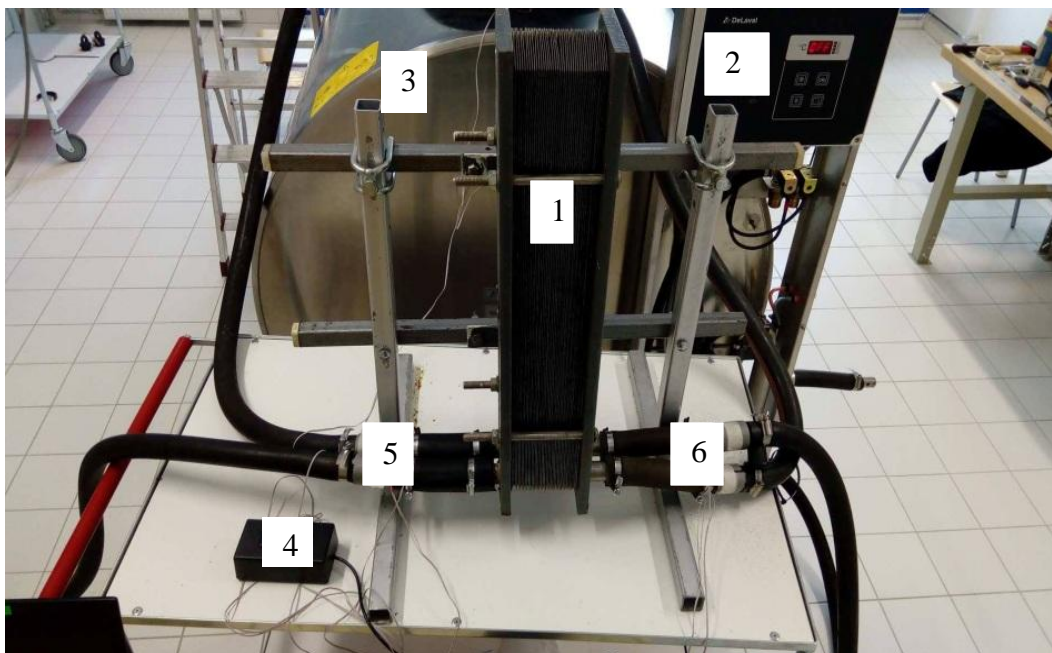
5.3. Katsetetoodika

Katsete tegemiseks oli vaja kasutada piima. Autor kasutas piima asemel vett, kuna piima ja vee füüsikalised omadused ei erine väga palju. Näiteks piima tihedus on 1030 kg/m^3 , erisoojus on $3,931 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$, viskoossus $2,127 \text{ mPas}$, keemispunkt on $100,15^\circ\text{C}$ ja külmumispunkt on $0,52^\circ\text{C}$ [13]. Vee füüsikalised omadused on tihedus 1000 kg/m^3 , erisoojus $4,190 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$, viskoossus $1,01 \text{ mPas}$, vee keemispunkt on 100°C ja külmumispunkt 0°C . Nende füüsikaliste andmete sarnasuste põhjal kasutas autor piima asemel katsetes sooja vett.

Tabel 5.1. Plaatjahuti OM 1000-UZ tehnilised andmed [9]

Parameeter	Andmed
Tootlikus l/h	1000
Plaatide arv	42
Ühe plaadi pindala m^2	0,04

Katseobjektiks kasutati plaatjahutit OM 1000-UZ (joonis 5.4). Seadme tootlikkus on 1000 l/h. Plaatide on kokku 42, millest ühe plaadi pindala on $0,04 \text{ m}^2$ (tabel 5.1).



Joonis 5.4. Katseseade: 1 – plaatjahuti OM 1000-UZ; 2 – *DeLaval* pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudel; 3 – piimajahuti-säiliti CH-1650; 4 – viiepunktiline termomeeter; 5 ja 6 – viiepunktilise termomeetri termistoride ühenduspunktid.

Laboratoorse töö tegemise jaoks pidi autor valmistama mõõteriista (joonis 5.5), millega oleks võimalik reaalajas jälgida plaatjahutist sisse ja välja tuleva vee ning piima temperatuuri. Mõõteriista valmistamiseks kasutati mikrokontrollerit nimetusega Arduino Nano, 5. termistori ehk termotakistit, 5. takistit, LCD ekraani ja USB juhet, mis ühendatakse personaalarvutiga. Tegemist on NTC – termistoriga, mille mõõteulatus on -55 kuni 125 °C, termistori takistus on $22\text{ k}\Omega$ ning võimsus on 500mW . NTC tähendab negatiivset termotakistit. NTC – termotakisti takistus jähvenemisel kasvab ja soojenemisel takistus kahaneb. Takistite näitajad on $22\text{ k}\Omega$. Mõõteriistale juurde käib tarkvara CoolTerm, millega on võimalik jälgida andmeid PC ja neid töödelda.

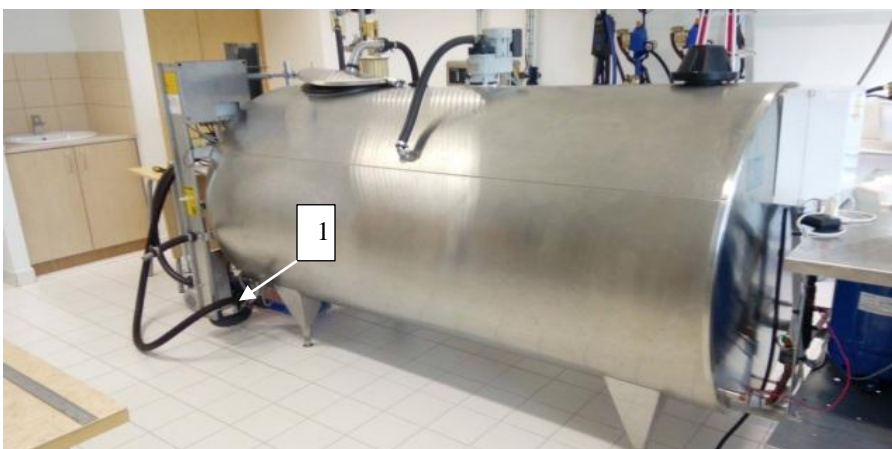


Joonis 5.5. Viiepunktiline termomeeter.



Joonis 5.6. Sülearvutit HP-ProBook 6470b.

Sülearvutit HP-ProBook 6470b kasutati tarkvara CoolTermi kasutamiseks ja andmete töötlemiseks Windowsi programm Excel-is (joonis 5.6).

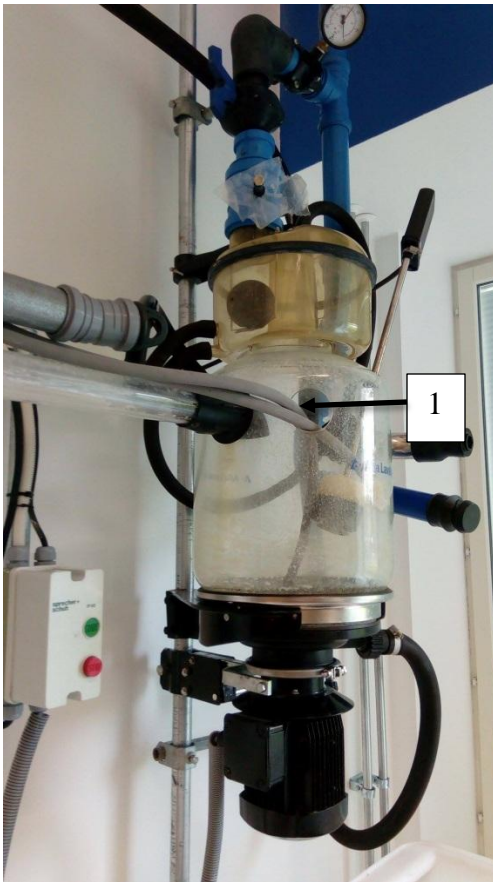


Joonis 5.7. Piimajahuti-säiliti CH-1650: 1 – jahutusvee toru ühendus piimajahuti-säilitiga.



Joonis 5.8. DeLaval pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudel.

Katses jahutusvee tegemiseks ja jahutusvee pumpamiseks kasutati piimajahutit CH-1650 (joonis 5.7), mida juhiti DeLaval pesemis-juhtimisseade T10 2008. aasta mudeliga (joonis 5.8).



Joonis 5.9. Piimakogur: 1 – kuuma ja külma vee voolikute sisenemise ava.



Joonis 5.10. Kontakttermomeeter SDT30.



Joonis 5.11. Veearvesti.

Katses „piima“ tegemiseks kasutati piimakogurit (joonis 5.9). Katses kasutas autor piima asemel 33...35 °C vett, mis segatakse kuumast ja külmast veest.

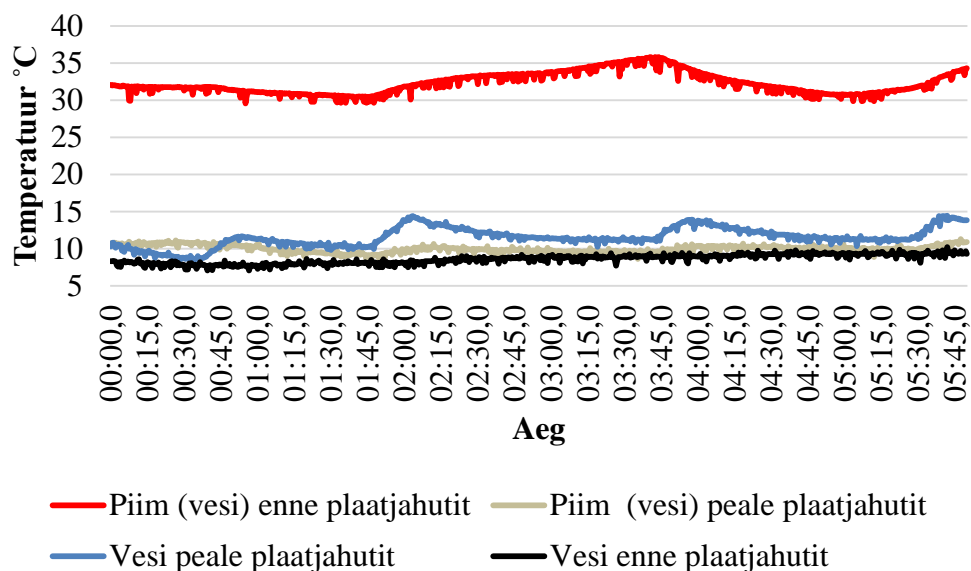
Katses „piima“ (reaalselt vee) temperatuuri mõõtmiseks kasutati kontakttermomeetrit SDT30 (jooni 5.10). Katses piima (vee) koguse mõõtmiseks kasutati veearvestit (joonis 5.11).

5.4. Plaatjahuti OM 1000-UZ katsetulemused

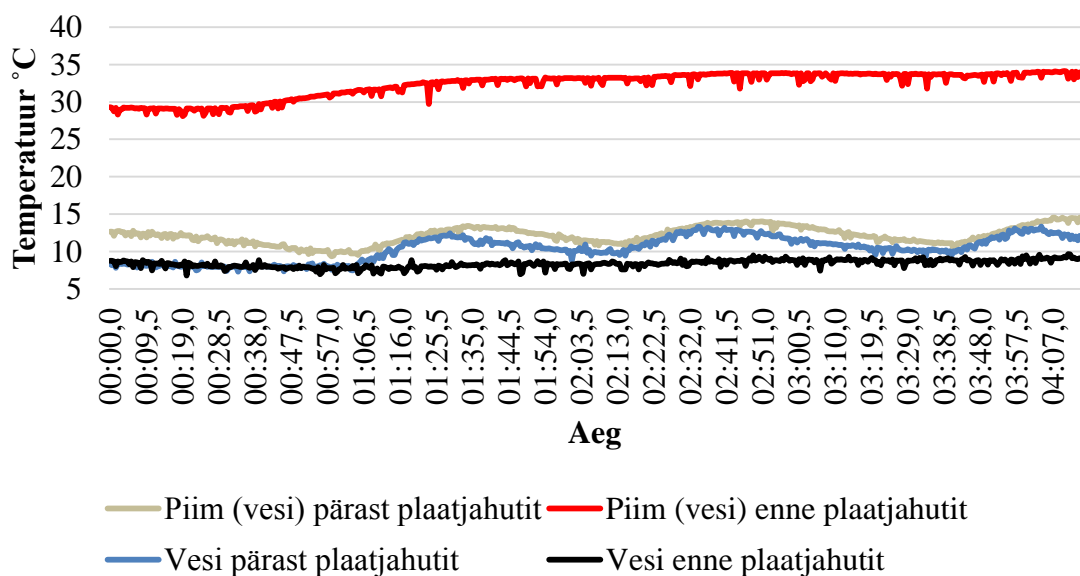
Katsete eesmärk oli välja selgitada, kas piim (vesi) jahtub vastuvoolu paremini kui pärioolu. Katsete tegemiseks pidi laborisse esmalt paigaldama plaatjahuti, ühendama torustikuga ja ehitama viiepunktilise termomeetri, et oleks võimalik digitaalselt andmeid töödelda.

Plaatjahuti OM 1000-UZ katsetulemused saadi viiepunktilise termomeetriga, mis edastas andmed programmi CoolTerm. Hiljem töödeldi andmed Excel-is. Katsetulemustest saadi teada, et võrreldes päriooluga jahtub piim paremini vastuvoolulisel suunal.

Autor sooritas plaatjahutiga kokku 12 katset, millest 8. olid piima ja jahutusvee suunad vastuvoolulised. Katsetest 4 olid pärioolulise suunaga. Töös tõi autor välja kahe katse tulemused (üks vastuvoolu, üks pärioolu) ning ülejäänud katsed on esindatud lisas 1.



Joonis 5.12. Katse nr 8. Piima ja vee voolu suund on vastuvoolu.



Joonis 5.13. Katse nr 12. Piima ja vee vool on päri voolu.

Välja on toodud kõigi katsete keskmised temperatuurid ja katse aeg. Kus T_{p1} on piima (vee) temperatuur enne plaatjahutit OM 1000-UZ, T_{p2} on piima (vee) temperatuur peale plaatjahutit, T_{v2} on vee temperatuur peale piima jahutamist, T_{v1} on vee temperatuuri enne plaatjahutit, T_{vj} on vee temperatuur piimajahutis mille jahutati vett.

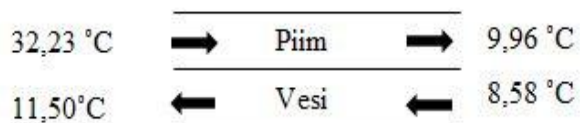
Tabel 5.2. Keskmised temperatuurid (°C) ja katsete kestus (s) vastuvoolul

Katse nr	T_{p1}	T_{p2}	T_{v2}	T_{v1}	T_{vj}	Aeg
1.	33,46	19,17	19,01	17,67	16,02	250
2.	33,93	20,48	19,97	18,21	17,03	314
3.	34,11	16,47	17,15	14,29	12,28	305
4.	33,03	16,04	16,52	14,7	13,27	256
5.	31,57	13,23	13,06	10,37	8,23	278
6.	31,29	12,59	13,10	11,00	9,27	251
7.	30,36	11,12	10,95	6,83	4,87	285
8.	32,23	9,96	11,50	8,58	7,08	350

Tabel 5.3. Keskmised temperatuurid (°C) ja katsete kestus (s) pärioolu

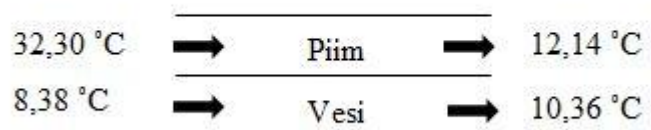
Katse nr	T_{p1}	T_{p2}	T_{v2}	T_{v1}	T_{vj}	Aeg
9.	31,56	16,60	12,63	10,78	9,18	278
10.	32,12	15,10	13,39	11,75	10,29	284
11.	35,30	12,62	10,29	7,22	4,96	276
12.	32,30	12,14	10,36	8,38	6,37	254

Katsetulemustest nägi, et piim jahtub alati väga hästi, kuna piima vool võrreldes jahutusvee vooluga on väga väike. Keskmiselt piima voolukiirus oli 0,2 l/s, aga jahutusvee pumba voolukiirus on 1,5 l/s. Katse nr. 8 (tabel 2) jahutusvee algtemperatuur piimajahutis oli 7,08 °C, mis enne plaatjahutisse jõudmist soojenes välistemperatuuri mõjul temperatuurini 8,58 °C. Plaatsoojusvahetis soojenes jahutusvesi piima (vee) jahutamisega 11,50 °C-ni, kuid piima (vee) jahutamine toimus väga hästi. Piima (vee) algtemperatuurilt 32,23 °C jahtus piim lõpptemperatuurini 9,96 °C (joonis 5.13).

**Joonis 5.14.** Vastuvoolu katse nr. 8 voolusuunad ja temperatuurid.

Katse nr.12 jahutusvee algtemperatuur piimajahutis oli 6,37 °C, mis soojenes välistemperatuuri mõjul enne plaatjahutisse jõudmist temperatuurini 8,38 °C. Piima (vee) jahutamisega soojenes jahutusvesi temperatuurini 10,36 °C ja piima (vee) algtemperatuurilt 32,30 °C jahtus piim (vesi) temperatuurini 12,14 °C (joonis 5.14). Erinevus seisneb katse nr. 8 ja nr. 12 piima (vee) ja jahutusvee voolu suunades ning lõpptemperatuurides. Katsete põhjal on võimalik järeldada,

et vastuvooluga jahtub piim (vesi) kahe kraadi võrra rohkem ning jahutusvesi soojeneb vastuvooluga umbes kraad rohkem.



Joonis 5.15. Päriveroolu kaste nr. 12 voolusuunad ja temperatuurid.

6. LABORATOORSE TÖÖ JUHEND JA MENETLUSKONTROLL

6.1. Laboratoorse töö juhend

Laboratoorne töö

Plaatjahuti OM 1000-UZ

Vajalikud seadmed: Plaatjahuti OM 1000, piimakogur (piimapump), piimajahuti CH 1650, DeLaval'i pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudel (veepump), viiepunktiline termomeeter, tarkvara CoolTerm, PC (arvuti), kontakttermomeeter SDT30, veearvesti, tööriistad.

Töö ülesanne

1. Tundma õppida plaatjahuti OM 1000-UZ ehitust ja talitust.
2. Ühendada katselaboris olev torustik plaatjahutiga OM 1000-UZ.
3. Kinnitada digitaalne viiepunktilise termomeeteri termistorid torustikuga.
4. Ühendada digitaalne viiepunktiline termomeeter PC-ga.
5. Installeerida PC-sse tarkvara CoolTerm.
6. Kinnitada kogurist tulevale torule veearvesti
7. Ette valmistada seadme piim (vesi) ja jahutusvesi katse tegemiseks.
8. Käivitada seadmed ja salvestada viiepunktilise termomeetri andmed.
9. Jahutada piim (vesi) ja jahutusvesi katseks vajalikule temperatuurile.
10. Määrata plaatjahuti tootlikkus.
11. Määrata jahuti jahutuspind.
12. Määrata piimalt (veelt) ja jahutusveelt äravõetav soojushulk.
13. Määrata jahuti soojuse läbikandetegur.
14. Arvutada vee kulutegur.
15. Saadud tulemused kanda tabelitesse.
16. Anda oma hinnang katse tulemuste kohta.

Tööohutus

1. Laboratoorset tööd tegema hakates peab olema üliõpilane läbinud töötervishoiu ja tööohutusalase juhendamise ning kinnitanud seda allkirjaga. Tööohutuse juhendamine toimub õppeaine õppejõu poolt esimese laboratoorse töö alguses.
2. Labortöö alguses tuleb tutvuda piimajahuti CH 1650 ja *DeLaval* pesemisjuhtimisseade T10 2008. a. mudeliga.
3. Torustiku paigaldamisel tuleb jälgida, et torude ühendused oleks korralikult toruklambritega kinnitatud.
4. Tegemist on veega - tuleks vältida üleliigse vee sattumist labori põrandale.
5. Ennetada vee sattumist elektroonikale, sest viiepunktiline termomeeter ja PC on elektroonilised seadmed.
6. Koguripumba ja *DeLaval* pesemisjuhtimisseade T10 2008. a. mudeli veepumba käivitamiseks tuleb küsida eelnevalt õppejõult luba.

Töö tegemiseks vajalik

Plaatjahuti OM 1000-UZ ülesanne on jahutada piima enne jahutisse jõudmist ja jahutusvett kasutada lehmade joogiveeks.

Viiepunktilise termomeetri ja termomeetri tarkvara CoolTerm-i annab õppejõud.

Piima (vee) temperatuur on 33°C...37°C (lehma kehatemperatuur on 38...39°C).

Piimapumba tootlikkus määratakse veearvestiga ja katse kestvusega.

Jahutusvee temperatuur 7°C.

Jahutusvee pumba tootlikkuse saab pumba pealt (1,5 l/s).

Katse kestus 4...10 minutit.

Viiepunktilise termomeetri mõõtesagedus on 2 Hz.

Plaatjahuti ühe plaadi pind $\approx 0,04 \text{ m}^2$. Kokku on 42 plaati.

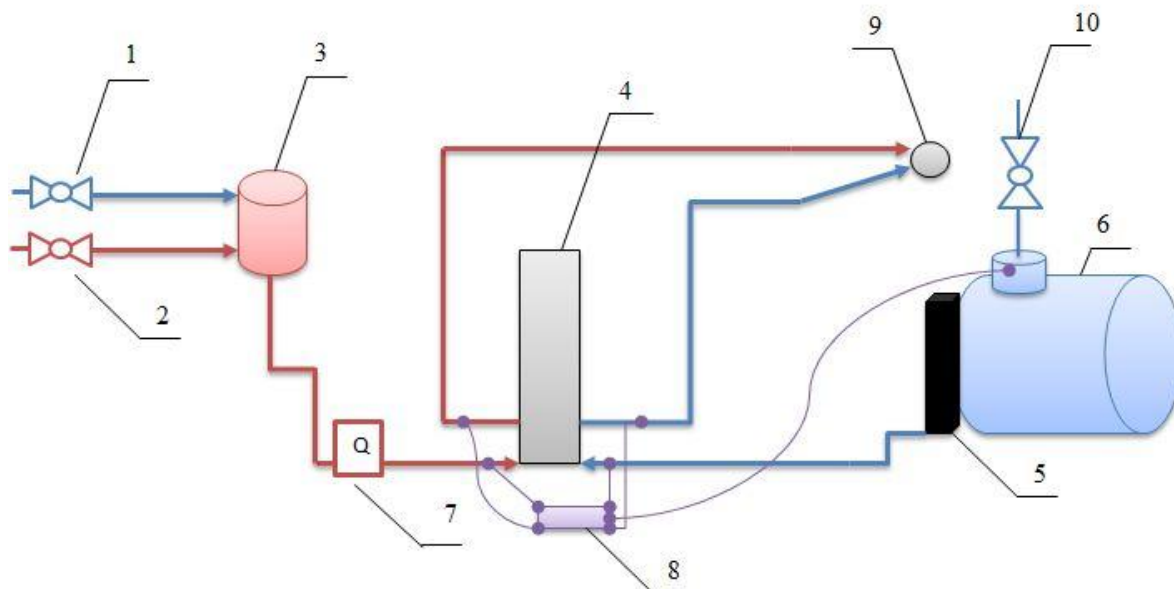
Täpsemad mõõtetulemused saadakse viiepunktiliselt termomeetrilt programmi CoolTerm-ga.

CoolTerm-ist saadud mõõtmistulemustest tuleb arvutada temperatuuride keskmised ja need kanda tabelisse.

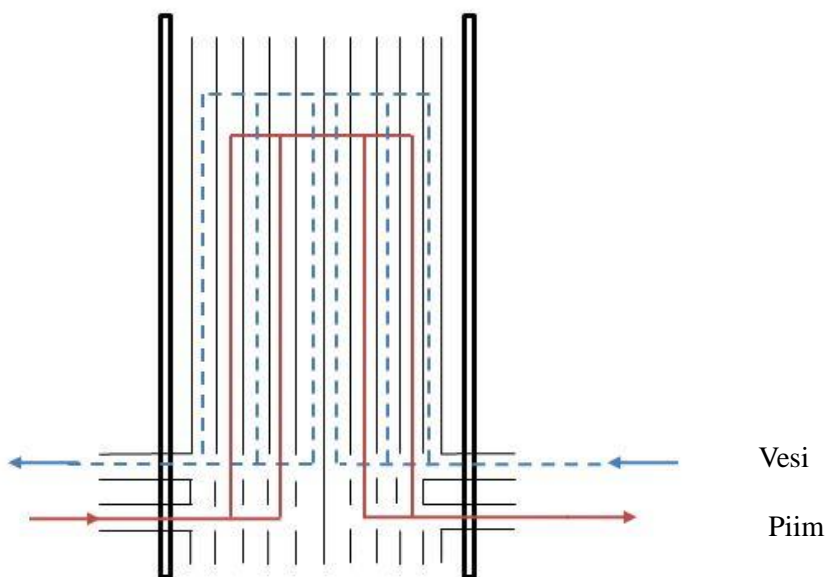
Kokkupanek

Kokkupanekul juhinduda laboratoorse töö skeemist (joonis 1).

1. Tuua katselaborisse plaatjahuti OM 1000-UZ.
2. Ühendada neli toru plaatjahutiga nii, et toimuks vastassuunaline vool piima ja vee vahel.
3. Ühendada üks piimatoru piimakoguriga ning vahele paigaldada veearvesti ja teine piimatoru suunata kanalisatsiooni (jahutisse CH 1650).
4. Ühendada üks veetoru Delavali pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudeliga ja teine veetoru suunata jahutisse CH 1650.
5. Kõik toruühendused kinnitada toruklambritega.
6. Ühendada neljale torule ettenähtud kohtadesse viiepunktilise termomeetri termistor. Viies termistor panna jahutisse CH 1650.
7. Arvutamisel arvestada, et viiepunktiline termomeeter mõõdab temperatuuri Celsiuse skaalas.
8. Suunata katselaboris olevad külma ja kuuma vee voolikud kogurisse.
9. Jälgida kontakttermomeetriga piima (vee) temperatuuri koguris.



Joonis 1. Laboratoorse töö skeem: 1 – külma vee kraan; 2 – kuuma vee kraan; 3 - piimakogur ja pump; 4 – plaatjahuti OM 1000-UZ; 5 – *DeLaval* pesemis-juhtimisseade T10 2008. a. mudel (veepump); 6 – piimajahuti CH 1650; 7 – veearvesti; 8 – digitaalne viiepunktiline termomeeter; 9 – kanalisatsiooni ava; 10 – külma vee kraan.



Joonis 2. Plaatjahuti OM 1000-UZ tehnoloogiaskeem.

Tabel 1. Mõõtmistulemused vastuvoolu

Mõõdetud väärtuste keskmised °C					Katse kestus s
T_{p1}	T_{p2}	T_{v1}	T_{v2}	T_{vj}	t

Tabel 2. Mõõtmistulemused päri voolu

Mõõdetud väärtuste keskmised °C					Katse kestus s
T_{p1}	T_{p2}	T_{v1}	T_{v2}	T_{vj}	t

kus: T_{p1} – on piima keskmine temperatuur kogurist; T_{p2} – on piima keskmine temperatuur peale plaatjahutit; T_{v1} – on vee keskmine temperatuur veepumbast; T_{v2} – vee temperatuur peale plaatjahutit; T_{vj} – on vee keskmine temperatuur jahutis.

Tabel 3. Plaatjahuti vastuvoolu katsetamisel saadud tulemused

Määratav suurus ja ühik	q kg/s	S m ²	ΔT K	Q kJ	K kJ/(m ² · K)	n
Väärtus						

kus: q – tegelik tootlikkus; S – jahuti jahutuspind; ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe; Q – seadme külmatootlikkus; K – soojuslähikandetegur; n – vee kulu tegur.

Tabel 4. Plaatjahuti päri voolu katsetamisel saadud tulemused

Määratav suurus ja ühik	q kg/s	S m ²	ΔT K	Q kJ	K kJ/(m ² · K)	n
Väärtus						

kus: q – tegelik tootlikkus; S – jahuti jahutuspind; ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe; Q – seadme külmatootlikkus; K – soojuslähikandetegur; n – vee kulu tegur.

Seadme tootlikkus määratakse valemiga:

$$q = \frac{V\gamma}{t}, \quad (1)$$

kus q – tegelik tootlikkus kg/s;
V – jahutatud piim, (vee) maht m³;
γ – piima (vee) tihedus kg/m³ (piimal = 1030 kg/m³);
t – katse kestus s.

Seadme külmatootlikkus Q - kJ arvutatakse valemiga:

$$Q = m \cdot c (T_{p1} - T_{p2}), \quad (2)$$

kus c – piima: 3,931 kJ/(kg· °C) ja vee: 4,190 kJ/(kg· °C);
 T_{p1}, T_{p2} – piima (vee) keskmised alg- ja lõpptemperatuurid °C.

Jahuti soojuslähikandetegur määratakse valemiga:

$$K = \frac{Q}{S \cdot \Delta T_k}, \quad (3)$$

kus K – soojuslähikandetegur $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

S – jahuti jahutuspind m^2 (Plaatjahuti ühe plaadi pind on $\approx 0,04 \text{ m}^2$;

ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe.

Keskmine logaritmiline temperatuuride vahe:

$$\Delta T_k = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{2,3 \lg \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}}, \quad (4)$$

$$\Delta T_{\max} = T_{p1} - T_{v2};$$

$$\Delta T_{\min} = T_{p2} - T_{v1}.$$

kus T_{v1} ja T_{v2} – vastavalt jahutusvee keskmine alg- ja lõpptemperatuur.

Vee kulu tegur leitakse valemiga:

$$n = \frac{V}{V_p}, \quad (5)$$

kus n on vee kulu tegur;

V – katse vältel kasutatud jahutusvee hulk m^3 ;

V_p – jahutatud piima (vee) hulk m^3 .

Seadmete käivitamine

1. Lasta kogurisse piisav kogus piima (vett), mille temperatuur oleks 33...37 °C ning piima (vee) pealejooks oleks võimalikult suur, et katse saaks kesta 4...10 minutit.
2. Jahutisse CH 1650 lasta piisav kogus vett ning algtemperatuur jahutada vähemalt 7 °C.
3. Viiepunktiline termomeeter ühendada plaatjahuti torudega ja PC-sse installeerida tarkvara CoolTerm.

Kordamisküsimused

1. Missugune on seadme OM 1000-UZ ehitus ja tööprotsess?
2. Mis on vee kulu tegur ja selle valem?
3. Mida iseloomustab plaatjahuti soojuslähikandetegur?
4. Kuidas toimub piima eeljahutamine?
5. Mis on oluline seadme käivitamisel?

6.2. Laboratoorse töö menetluskontroll

Laboratoorse töö juhend on autori poolt läbi lahendatud. Laboratoorse töö menetluskontrolli jaoks tehti kaks katset. Selleks mõõdeti andmeid, kui piim ja jahutusvesi voolasid vastuvoolulises suunas ning teises katses pärivoolu suunas (tabel 1 ja tabel 2). Samuti arvutas autor plaatjahuti tulemused vastu- ja pärivoolu suunas (tabel 3 ja tabel 4).

Tabel 1. Mõõtmistulemused vastuvoolu

Mõõdetud väärtuste keskmised °C					Katse kestus s
T_{p1}	T_{p2}	T_{v1}	T_{v2}	T_{vj}	t
34,11	16,47	17,15	14,29	12,28	305

Tabel 2. Mõõtmistulemused pärivoolu

Mõõdetud väärtuste keskmised °C					Katse kestus s
T_{p1}	T_{p2}	T_{v1}	T_{v2}	T_{vj}	t
35,30	12,62	10,29	7,22	4,96	277

kus: T_{p1} – on piima keskmine temperatuur kogurist; T_{p2} – on piima keskmine temperatuur peale plaatjahutit; T_{v1} – on vee keskmine temperatuur veepumbast; T_{v2} – vee temperatuur peale plaatjahutit; T_{vj} – on vee keskmine temperatuur jahutis.

Tabel 3. Plaatjahuti vastuvoolu katsetamisel saadud tulemused

Määratav suurus ja ühik	q kg/s	S m^2	ΔT	Q kJ	K $kJ/(m^2 \cdot ^\circ C)$	n
Väärtus	0,18	1,68	0,82	4065.14	2832,26	8,32

kus: q – tegelik tootlikkus; S – jahuti jahutuspind; ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe; Q – seadme külmatootlikkus; K – soojuslähikandetegur; n – vee kulu tegur.

Vastuvoolu katsetamisel saadud tulemused

Seadme tootlikkus määratakse valemiga:

$$q = \frac{V\gamma}{t} = \frac{0,055 \cdot 1000}{305} = 0,18 \text{ kg/s} \quad (1)$$

kus q – tegelik tootlikkus kg/s;

V – jahutatud piim, (vee) maht l (55 l);

γ – piima (vee) tihedus kg/m³ (piim = 1030 kg/m³, vesi = 1000 kg/m³);

t – katse kestvus s.

Seadme külmatootlikkus Q - kJ arvutatakse valemiga:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_{p1} - T_{p2}) = 55 \cdot 4,19 \cdot (34,11 - 16,47) = 4065,14 \text{ kJ}, \quad (2)$$

kus c – piima: 3,931 kJ/(kg·°C) ja vee: 4,190 kJ/(kg·°C);

T_{p1}, T_{p2} – piima (vee) keskmised alg- ja lõpptemperatuurid °C;

m – piim kogus kg.

Jahuti soojuslähikandetegur määratakse valemiga:

$$K = \frac{Q}{S \cdot \Delta T_k} = \frac{4065,14}{1,68 \cdot 0,82} = 2832,26 \text{ kW}/(m^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (3)$$

kus K – soojuslähikandetegur $\text{kW}/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

S – jahuti jahutuspind m^2 (Plaatjahuti ühe plaadi pind on $\approx 0,04 m^2$;

ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe.

Keskmine logaritmiline temperatuuride vahe:

$$\Delta T_k = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} = \frac{16,96 - 2,18}{2,3 \lg \frac{16,96}{2,18}} = 0,82 \quad (4)$$

$$\Delta T_{max} = T_{p1} - T_{v2} = 34,11 - 17,15 = 16,96$$

$$\Delta T_{min} = T_{p2} - T_{v1} = 16,47 - 14,29 = 2,18$$

kus T_{v1} ja T_{v2} - vastavalt jahutusvee keskmine alg- ja lõpptemperatuur.

Vee kulu tegur leitakse valemiga:

$$n = \frac{V}{V_p} = \frac{0,4575}{0,055} = 8,32 \quad (5)$$

kus n on vee kulu tegur;

V – katse vältel kasutatud jahutusvee hulk m^3 ;

V_p – jahutatud piima (vee) hulk m^3 .

Tabel 4. Plaatjahuti päri voolu katsetamisel saadud tulemused

Määratav suurus ja ühik	q kg/s	S m^2	ΔT	Q kJ	K $kJ/(m^2 \cdot K)$	n
Väärtus	0,20	1,68	1,84	5130,48	1602,90	7,67

kus: q – tegelik tootlikkus; S – jahuti jahutuspind; ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe; Q – seadme külmatootlikkus; K – Soojuslähikandetegur; n – vee kulutegur.

Päri voolu katsetamisel saadud tulemused.

Seadme tootlikkus määratakse valemiga:

$$q = \frac{V\gamma}{t} = \frac{0,054 \cdot 1000}{276} = 0,20 \text{ kg/s} \quad (6)$$

kus q – tegelik tootlikkus kg/s;

V – jahutatud piim, (vee) maht l (54 l);

γ – piima (vee) tihedus kg/m^3 (piim = 1030 kg/m^3 , vesi = 1000 kg/m^3);

t – katse kestus s.

Seadme külmatootlikkus Q - kJ arvutatakse valemiga:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_{p1} - T_{p2}) = 54 \cdot 4,19 \cdot (35,20 - 12,62) = 5130,48 \text{ kJ} \quad (7)$$

kus c – piima: $3,931 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ ja vee: $4,190 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$;

T_{p1}, T_{p2} – piima (vee) keskmised alg- ja lõpptemperatuurid $^\circ\text{C}$;

m – piim kogus kg.

Jahuti soojuslähikandetegur määratakse valemiga:

$$K = \frac{Q}{S \cdot \Delta T_k} = \frac{5130,48}{1,68 \cdot 1,84} = 1602,90 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (8)$$

kus K – soojuslähikandetegur $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

S – jahuti jahutuspind m^2 (Plaatjahuti ühe plaadi pind on $\approx 0,04 \text{ m}^2$;

ΔT_k – keskmine logaritmiline temperatuuride vahe.

Keskmine logaritmiline temperatuuride vahe:

$$\Delta T_k = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} = \frac{25 - 5,4}{2,3 \lg \frac{25}{5,4}} = 1,84 \quad (9)$$

$$\Delta T_{max} = T_{p1} - T_{v2} = 35,20 - 10,29 = 25$$

$$\Delta T_{min} = T_{p2} - T_{v1} = 12,62 - 7,22 = 5,4$$

kus T_{v1} ja T_{v2} – vastavalt jahutusvee keskmine alg- ja lõpptemperatuur.

Vee kulu tegur leitakse valemiga:

$$n = \frac{V}{V_p} = \frac{0,414}{0,054} = 7,67 \quad (10)$$

kus n on vee kulu tegur;

V – katse vältel kasutatud jahutusvee hulk m^3 ;

V_p – jahutatud piima (vee) hulk m^3 .

6.3. Laboratoorse töö arenduse kokkuvõte

Laboratoorne töö on koostanud ja lahendanud autor. Laboratoorse töö tegemiseks on aega 135 minutit ehk kolm akadeemilist tundi, millest kahe katse sooritamisele kulub 8-20 minutit. Soovituslikult kuluks esimene akadeemiline tund plaatjahuti paigaldamisele, torustiku kokkupanemisele ja seadmete ühendamisele (PC, viiepunktiline termomeeter, programm CoolTerm-i installeerimine). Teine akadeemiline tund on mõeldud nii vastuvoolu kui ka päri voolu katse tegemiseks ning andmete töötlemiseks. Kolmas akadeemiline tund on planeeritud seadmete ja torustiku lahti ühendamiseks ning plaatjahuti ära viimiseks laborist. Plaatjahuti laboratoorne töö peab toimuma pärast piimajahuti laboratoorset tööd, kuna siis on juba jahutusvesi maha jahutatud ning seetõttu kulub tööle vähem aega. Laboratoorset tööd on võimalik teha üksinda või rühmas, kuid rühmatööna on plaatjahuti paigaldamine vähem ajakulukam.

KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli koostada laboratoorse töö juhend plaatjahutist.

Uurimistöö ülesanneteks oli esmalt kirjeldada piima eeljahutussüsteemi. See hõlmas plaatjahuti ehitust, tootlikkust, soojusvoo ja soojuslähikande tegureid. Antud ülesande osaks oli ka kirjeldada lehmade joogivee soojendamist – vee temperatuuri, vee kogust jne. Teiseks ülesandeks oli uurimistöö käigus kirjeldada laboratoorse katseseade ehitamiskäiku ning lisaks kirjeldada katseid ja analüüsida tulemusi. Uurimistöö oluliseks osaks oli laboratoorse töö juhendi koostamine.

Esialgne eesmärk oli uurida piima eeljahutussüsteemi ja rakendada piimas olevat soojusenergiat lehmade joogivee soojendamiseks. Uurimuse käigus selgitati välja, et on võimalik kasutada ära piimas olev soojusenergia lehmade joogivee soojendamiseks. Selleks läbib piim plaatjahuti, mille tagajärjel jahutusvesi soojeneb ning seda kasutatakse lehmade joogiveeks. Lehmadele on oluline anda soojemat vett, kuna see tõstab sööda tarbimist, mille tagajärjel tõuseb piima tootmine. Teostatud katsetulemustest selgus, et vastuvoolu suund plaatjahutis jahutab piima stabiilsemalt ning efektiivsemalt, kui seda teeb samas plaatjahutis pärioolulise suuna kasutamine.

Laboratoorse töö juhend koostati katsetulemuste põhjal, et anda üliõpilastele võimalus uurida ja õppida plaatjahuti tööpõhimõtet. Plaatjahuti, torustiku ning sinna kuuluvate seadmete häälestamiseks ja paigaldamiseks kulus mitu kuud. Farmi tingimustega sarnaste katsete läbiviimiseks valmistas autor viiepunktilise termomeetri, millega oleks võimalik mõõta piima (vee) ja jahutusvee temperatuure. Laboratoorses töös on võimalik katsetulemuste põhjal välja arvutada katseseadme tootlikkus, seadme külma tootlikkus, soojuslähikandetegur ja vee kulutegur. Juhend õpetabki kuidas paigaldada laborisse plaatjahuti, ühendada sellega digitaalsed seadmed, ühendada torustik ning töödelda katsetest saadud andmeid.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Ahokas, J.** (2012) Energia põllumajanduses. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 13-16, 92-93.
2. **Annuk A., Kaasik A., Kiiman H., Ots M., Kärt O., Nurmekivi H., Oinus N.** (2012). Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasutuses, lk 13. http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/PVT_Veised-t2iendatud111007.pdf (16.05.2017)
3. **David K. Beede** (1994). Water: The most important nutrient for dairy cattle. Department of Dairy and Poultry Sciences University of Florida, Gainesville, lk 84. <http://dairy.ifas.ufl.edu/dpc/1994/Beede.pdf> (25.04.2017)
4. DeLaval (i.a.) DeLaval Dairy Farming Handbook, lk 187-188.
5. **Hulsen, J.** (2010). Lehma signaalid piimakarjakasvatuse praktiline käsiraamat. Tartu: Paar, lk 60.
6. Vee tähtsus piimakarja jaoks – Rotaks. <http://rotaks.ee/vee-tahtsus-piimakarja-jaoks/> (6.04.2017)
7. **Veinla, V.** (1987). Farmide mehhaniseerimine. Tallinn: Valgus, lk 7, 318-319.
8. **Veinla, V.** (1996). Masinlüps II Lüpsiseadmed. Tallinn, lk 107, 111-112, 171, 176, 177.
9. **Veinla, V.** (1989). Loomakasvatuse mehhaniseerimine. Laboratoorsete tööde juhend. Põllumajandus mehhaniseerimise teaduskonna üliõpilastele. Tartu: Eesti põllumajaduse akadeemia, lk 155-163.
10. Vesi ja söömus – Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontroll. <https://www.jkkeskus.ee/jkk/piimaveised/piimaveiste-j%C3%B5udluskontrolli-kasulik-teave/vesi-ja-s%C3%B6%C3%B6mus-august-2009.html> (4.04.2017)
11. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse (2004). Põhjaveekomisjon. Tallinn: lk 11. http://www.maves.ee/Projektid/2004/PV_raamat.pdf (2.05.2017)
12. DeLvali plaatsoojusvahetid BM ja BMSS. DeLaval. <http://www.delaval.ee/-/Tooted-ja-lahendused/piimajahutus-ja-sailitamine/tooted/plaatsoojusvahetid/plaatsoojusvahetid/DeLvali-plaatsoojusvahetid-BM-ja-BMSS/?sp=412> (28.03.2017)

13. Abiks väikekäsitlejale II osa piim ja piima töötlemine. (2012). MTÜ Eesti Toiduainete Tehnoloogia Selts.

http://www.maheklubi.ee/upload/Editor/Trykised/trykis_mahevaikekaitleja_piim_2012.pdf

(15.05.2017)

SUMMARY

The aim of this thesis was to theoretically optimize milk pre-cooling systems and to compose a guide for laboratory work on a plate heat exchanger.

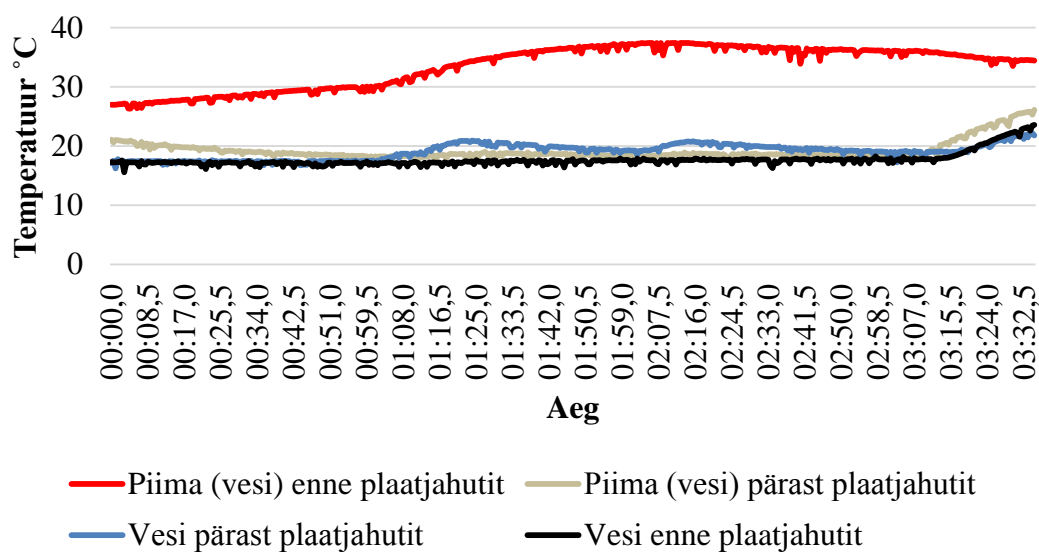
The first assignment for this thesis was to explain milk pre-cooling systems. This involved the construction and productivity of the plate heat exchanger and the factors of thermal flow and heat through entries. A part of the assignment was also to describe the warming of drinking water for cows – water temperature and the amount of it. The second task was to describe how the tests were constructed and how the results were analyzed. Important part of the thesis was a guide to laboratory work on a plate heat exchanger.

The first goal was to optimize the milk pre-cooling system and to apply the heat from milk to warm up drinking water for cows. It was found out that it is possible to use heat energy from the milk for cows drinking water. The milk has to pass through plate heat exchanger that causes the cooling water to warm up. The remaining warm water is used as drinking water for cows. It is important for cows to drink warm water, because it boosts the intake of feed that in turn also rises the production of milk. Test results showed that using against current in the plate heat exchanger cools down milk more effectively and sustainably.

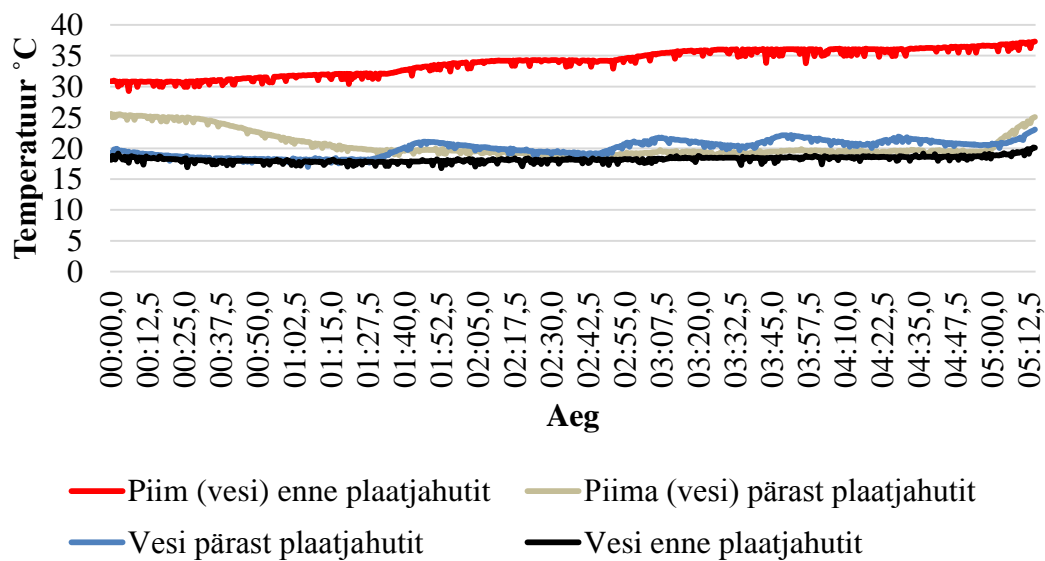
The guide to laboratory work was composed on the basis of test results. The guide gives students an opportunity to explore and learn how the plate heat exchanger works. It took several months to set up and adjust the plate heat exchanger, piping and equipment. To conduct tests in similar conditions that are in a farm, the author made a five-point thermometer that allows to measure milk (water) and cooling water temperatures. In the laboratory work it is possible to calculate productivity, devices cold productivity, heat through entry factor and the costing factor of water. The guide teaches how to install the plate heat exchanger to the laboratory, how to connect digital devices, how to connect the piping and how to process test results.

LISAD

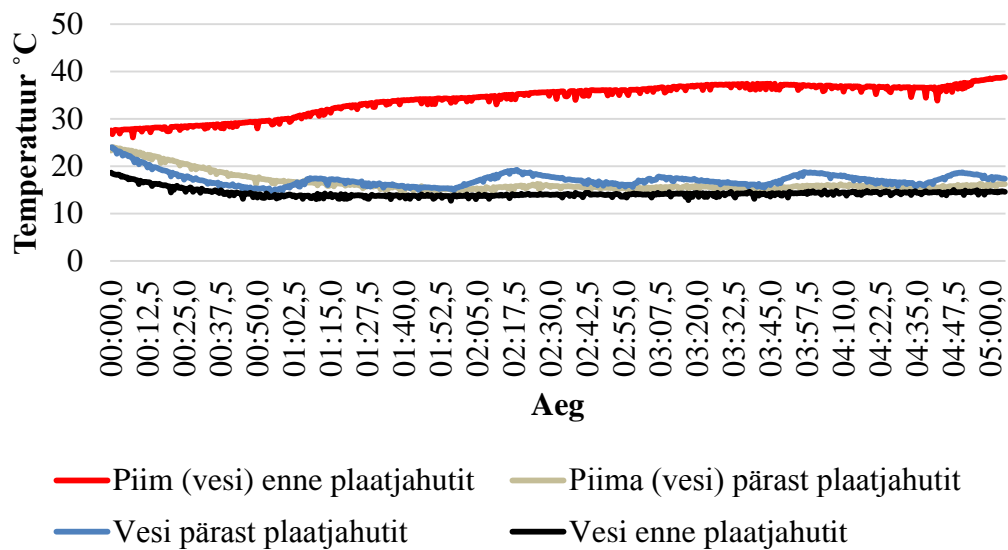
Lisa 1. Katseandmed



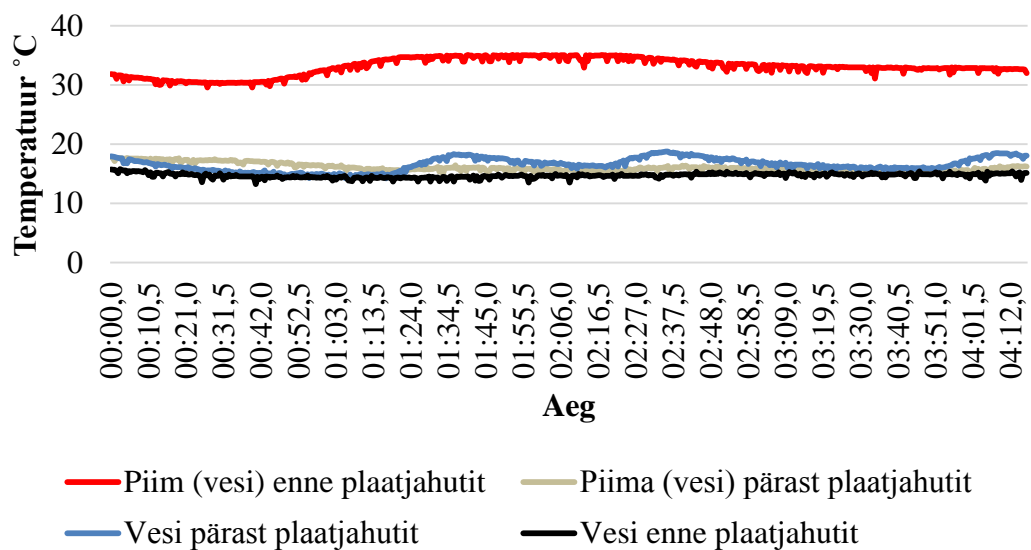
Joonis 1. Katse nr 1 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 16 °C.



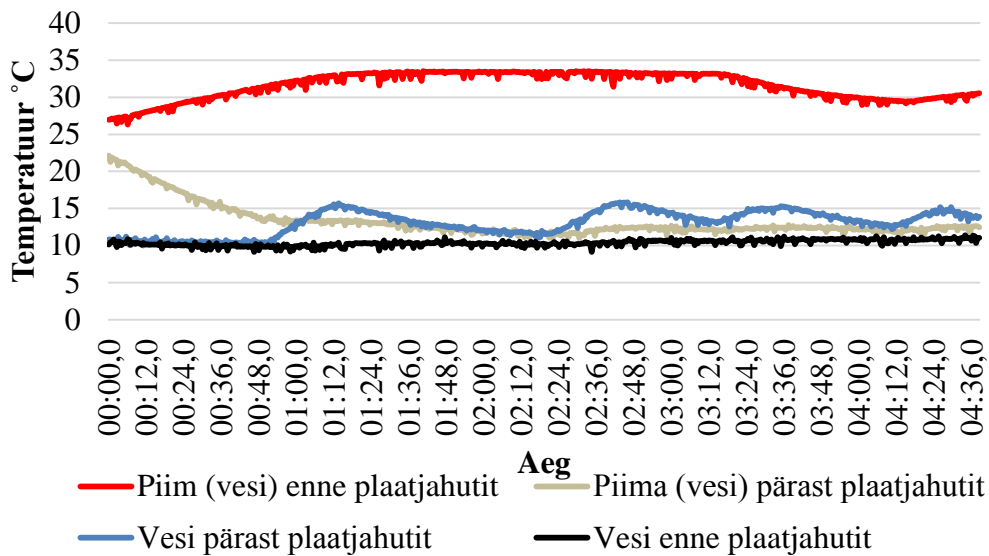
Joonis 2. Katse nr 2 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 17 °C



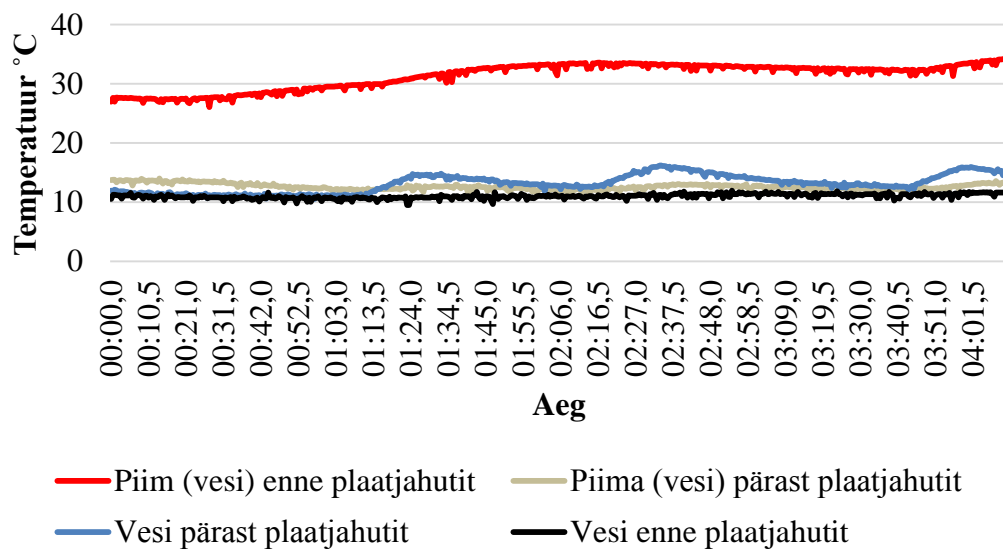
Joonis 3. Katse nr 3 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 12 °C



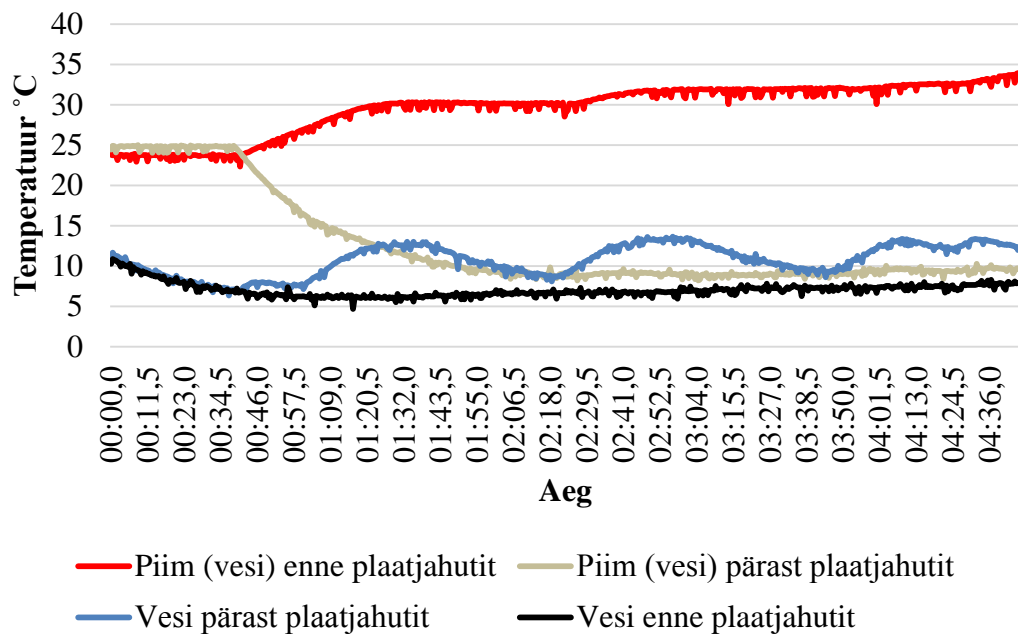
Joonis 4. Katse nr 4 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 13 °C



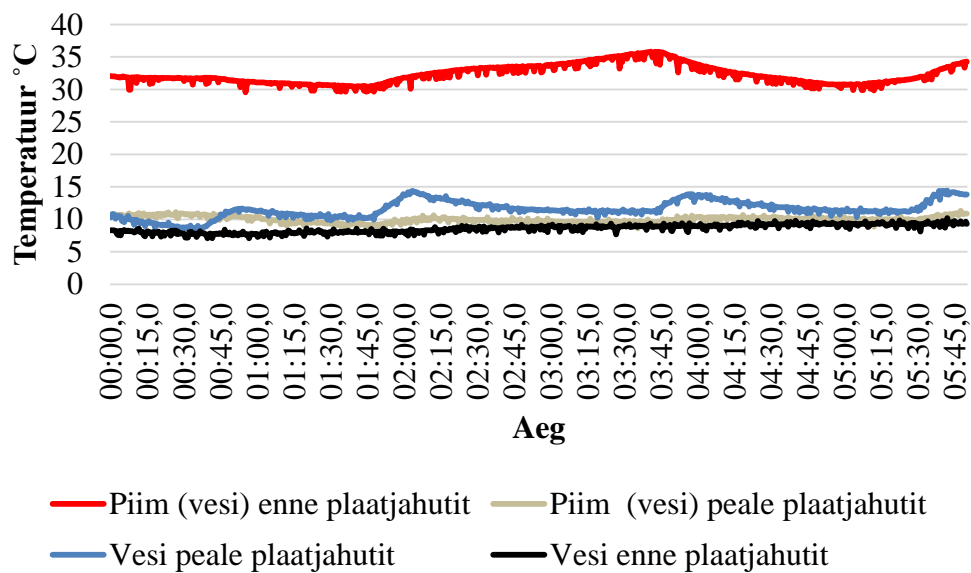
Joonis 5. Katse nr 5 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 8 °C



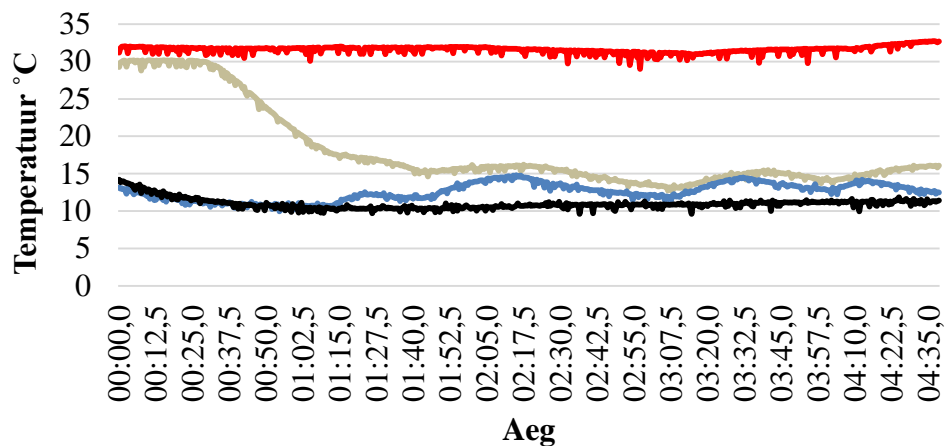
Joonis 6. Katse nr 6 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 9 °C



Joonis 7. Katse nr 7 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 5 °C

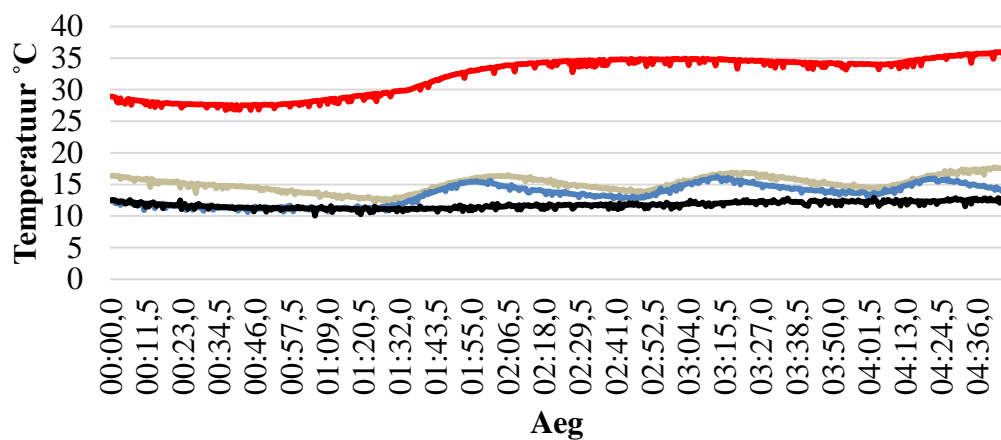


Joonis 8. Katse nr 8 vastuvoolu jahutusvee temperatuur 7 °C



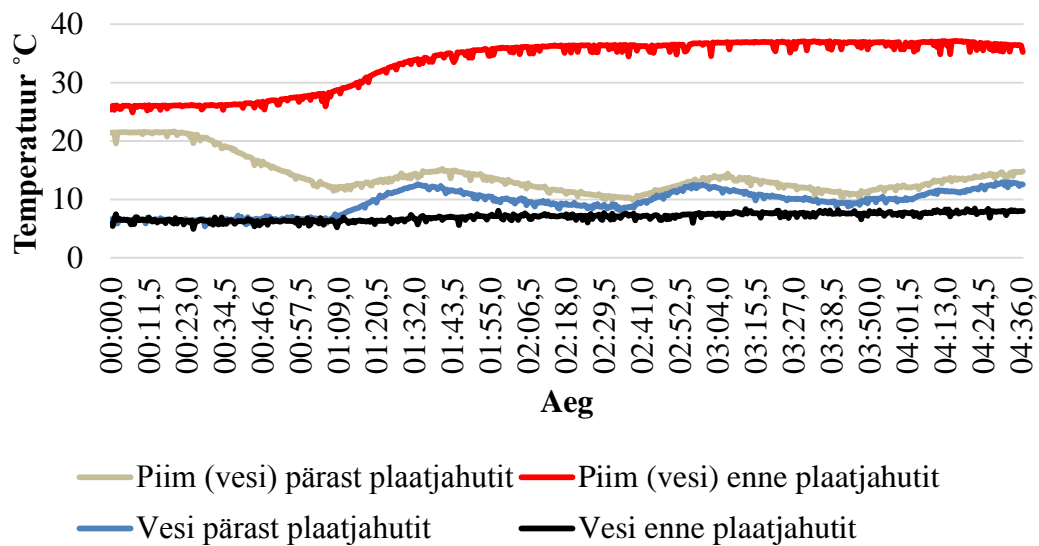
— Piim (vesi) pärast plaatjahutit — Piim (vesi) enne plaatjahutit
— Vesi pärast plaatjahutit — Vesi enne plaatjahutit

Joonis 9. Katse nr 9 pärioolu piim ja jahutusvesi, jahutusvee temperatuur 9 °C

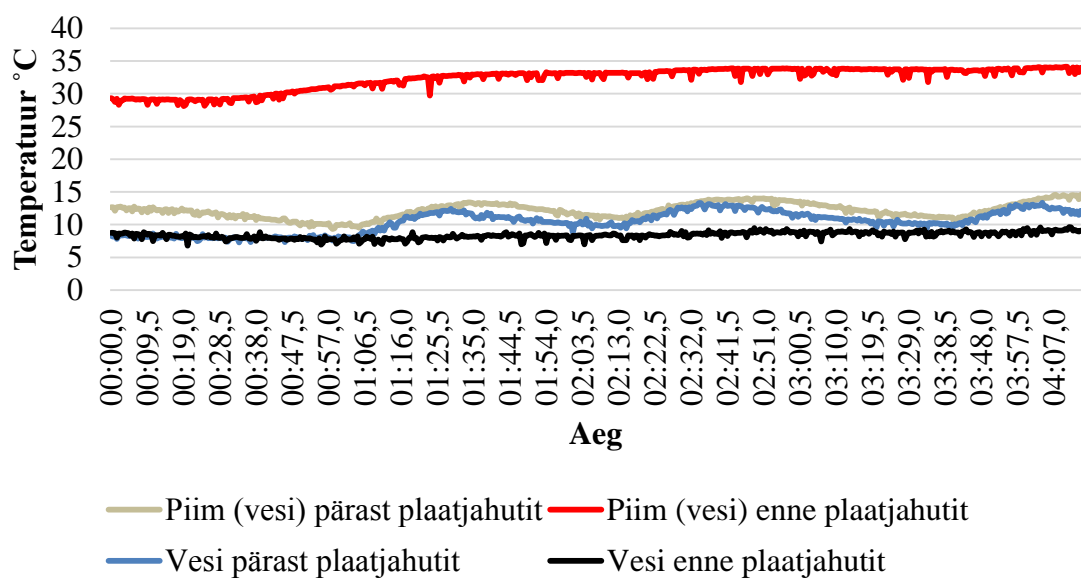


— Piim (vesi) pärast plaatjahutit — Piim (vesi) enne plaatjahutit
— Vesi pärast plaatjahutit — Vesi enne plaatjahutit

Joonis 10. Katse nr 10 pärioolu piim ja jahutusvesi, jahutusvee temperatuur 10 °C



Joonis 11. Katse nr 11 pärivoolu piim ja jahutusvesi, jahutusvee temperatuur 5 °C



Joonis 12. Katse nr 12 pärivoolu piim ja jahutusvesi, jahutusvee temperatuur 6 °C

Lisa 2. Lihtlitsents

Mina, _____ **SAMUEL PUNA** _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____ **07.06.1994** _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

PIIMA EELJAHUTUSSÜSTEEMI LABARATOORSE TÖÖ ARENDUS,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on _____ **ARVO LEOLA;** _____,
(*juhendaja nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
- kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
 - 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*) _____
(*kuupäev*)